

Årsskrift 2022



Årsskrift 2022

Titel	Årsskrift 2022
Rapportnummer	159
År	2023
Författare	Se kapitel
Kontakt	vattenvardsforbundet@lansstyrelsen.se
Webbplats	www.vattern.org
ISSN	1102-3791
Upplaga	Digital publicering
Omslagsbil	Vattenprovtagning i Domneån, Vätternvårdsförbundet

© Vätternvårdsförbundet 2023

Förord

Vätternvårdsförbundets roll och uppdrag är att samordna miljöövervakning för Vättern, med syfte att bedöma hela Vätterns kemiska och biologiska tillstånd och utveckling, jämföra med mål, upptäcka miljöproblem och följa åtgärder. Den löpande miljöövervakningen som redovisas här utgör grunden i vår kunskap om Vättern. Många av dessa undersökningar har gjorts i decennier och alla genomförs av ”de som kan” och följer standarder inom svensk miljöövervakning.

Hösten 2021 beslutades ett reviderat övervakningsprogram för Vättern som gäller från och med 2022. Flera moment som genomförs regelbundet och avser helsjön har lyfts in i programmet, bland annat flera fiskundersökningar, glacialrelikter samt fåglar på skär. Miljögiftsprogrammet har tydliggjorts för vatten, biota och sediment. Dessutom kommer ut-sjöprovtagningarna utökas med en provtagning under höstcirkulationen. Denna årsskrift kommer framöver publiceras vart tredje år. Men alla data kommer fortsatt vara tillgänglig

Många är engagerade i Vätterns tillstånd och många undrar just hur det går för Vättern. Vätternvårdsförbundet jobbar med att göra information mer tillgänglig för alla intresserade. Kunskapsplattformen [Vätternliv.se](https://vattnenliv.se) är ett välkommet tillskott som kompletterar vattnen.org och erbjuder tillgänglig och inbjudande information om Vättern, ekosystemet och tillståndet.

Dessutom publiceras fortsatt alla resultat i förbundets rapportserie, på hemsidan vattnen.org eller som rådata via de nationella datavärldarna – och blir även så tillgänglig för alla som forskar med, jobbar för, engagerar sig i eller är intresserade av Vättern.

Många olika aktörer deltar och bidrar aktivt och/eller genom finansieringen till dessa undersökningar: Medlemmar i förbundet, Havs- och vattenmyndigheten, Länsstyrelser, frivilliga och fiskeföreningar med flera.

Stort tack till alla!

Friederike Ermold
Sakkunnig vatten
Vätternvårdsförbundet

Malin Setzer
Sakkunnig Fisk & Fiske
Vätternvårdsförbundet

Måns Lindell
Särskilt sakkunnig
Vätternvårdsförbundet

Innehållsförteckning

Klimat och vattenstånd	7
Vattenkvalitet i Vättern	12
Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp	23
Ämnestransporter och arealspecifika förluster	40
Växtplankton	50
Djurplankton	55
Bottenfauna	60
Pelagisk fisk i Vättern 2021	66
Lekfiskräkningen av harr i Vätterns tillflöden våren 2022	81
Nederbördskemiska undersökningar av försurande och övergödande ämnen på Visingsö 2021	89
Nederbördskemisk undersökning av metaller på Visingsö 2021	102
PFAS i vatten och biota	116
Publiceringar under 2022	127

Klimat och vattenstånd

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SGS Analytics Sweden AB

Sammanfattning

År 2021 var årsnederbörden över Vättern (Visingsö) 361 mm, vilket var 26% mindre än medelvärdet för perioden 1990-2020. Det föll mindre nederbörd än normalt i främst februari, juni och december. Månader med något större nederbördsmängder än vanligt var främst maj och september.

Medelvattenståndet i Vätterns utlopp var 88,34 meter över havet år 2021, vilket var 16 cm lägre än medelvärdet för perioden 1967-2020. Medelvattenståndet var lägre än långtidsmedelvärdet samtliga månader under året.

Årsmedelvattenföringen i Vätterns utlopp var 28 m³/s år 2021, vilket var cirka 70% av medelvärdet för perioden 1960-2020 (39 m³/s). Jämfört med medelvärdena för perioden 1960-2020 var månadsmedelvattenföringen år 2021 lägre samtliga månader under året.

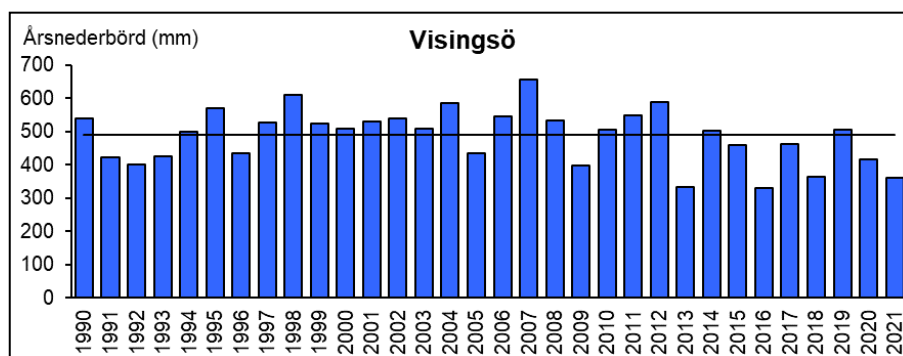
År 2021 var medeltemperaturen på Visingsö 7,8 °C, vilket var 1,3 °C högre än normalvärdet för perioden 1961-1990, men bara 0,3 °C varmare jämfört med 1991-2020. Vid jämförelse med 1961-1990 var bara december kallare än vanligt, men jämfört med 1991-2020 var även januari och februari, april och maj samt augusti någon grad svalare år 2021. Inte vid något av 2021 års fyra provtillfällen vid Edeskvärna och Jungfrun i Vättern kunde något temperatursprångskikt konstateras. Under perioden 1991-2021 ökade årsmedeltemperaturen vid vattenintaget på 5 meters djup vid Vadstena vattenverk med cirka två grader.



Figur 1. Vättern vid Vadstena (foto: Sven Thunéll).

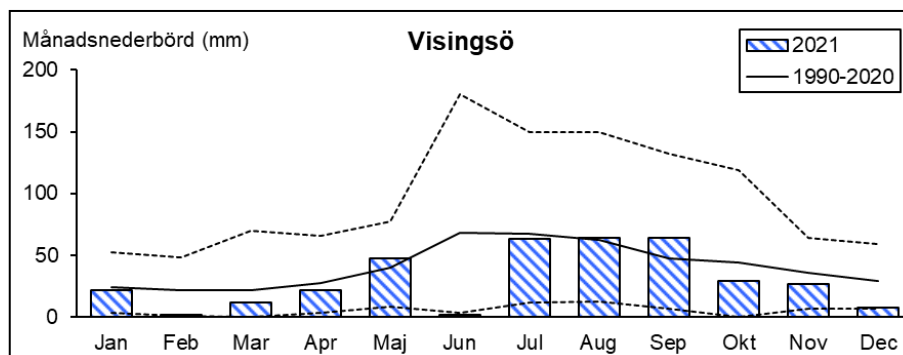
Nederbörd

År 2021 var den totala nederbördsmängden 361 mm vid SMHI:s väderstation på Visingsö (8405). Detta var 129 mm (26%) mindre än medelvärdet för perioden 1990-2020 (figur 2).



Figur 2. Årsnederbörd vid SMHI:s väderstation på Visingsö för åren 1990-2021 (staplar) samt medelvärde för perioden 1990-2020 (heldragen linje). För åren 1990-2007 avser värdena station 8406 och för åren därefter station 8405.

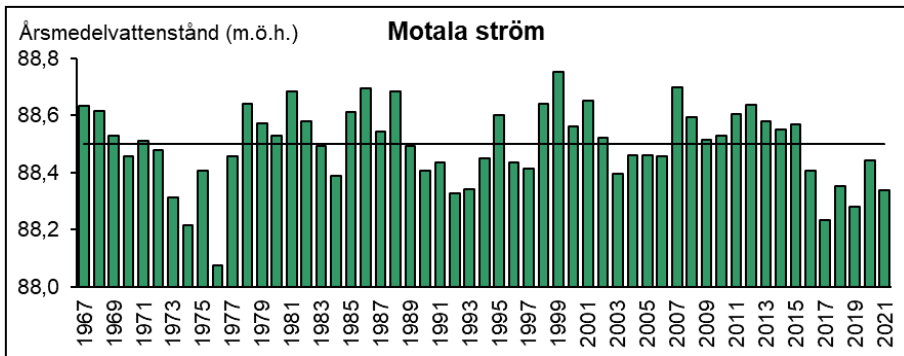
Jämfört med månadsmedelvärden för perioden 1990-2020 föll det mindre nederbörd år 2021 (figur 3) i främst februari (-92%), juni (-93%) och december (-73%), men även i mars, april, oktober och november. Det var bara i maj (+19%), augusti (+3%) och september (+35%) som nederbördsmängderna var större än vanligt (figur 3).



Figur 3. Månadsnederbörd vid SMHI:s väderstation på Visingsö år 2021 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1990-2020 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1990-2020. För åren 1990-2007 avser värdena station 8406 och för åren därefter station 8405.

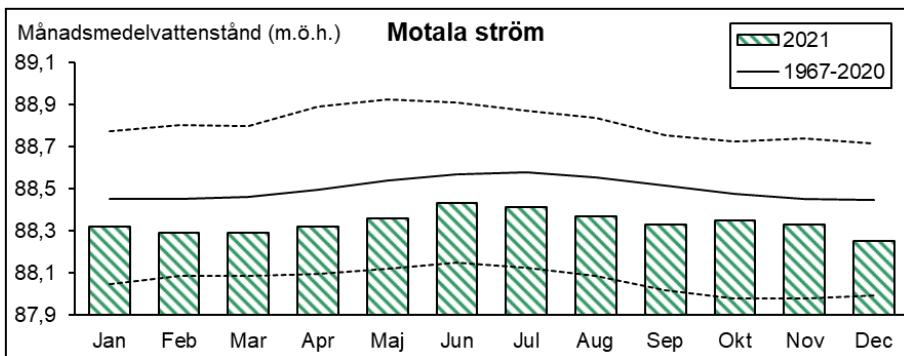
Vattenstånd

Sedan år 1858 görs dagliga mätningar av vattenståndet i Vätterns utlopp vid Motala. År 2021 var medelvattenståndet i Vätterns utlopp (SMHI:s station 154 i Motala ström) 88,34 meter över havet, vilket var 16 centimeter lägre än medelvärdet för perioden 1967-2020 (figur 4). Det allra lägsta medelvattenståndet (88,07 m.ö.h.) under perioden noterades år 1976 och det högsta (88,75 m.ö.h.) år 1999. Variationen under åren 1967-2021 var således nästan sju decimeter.

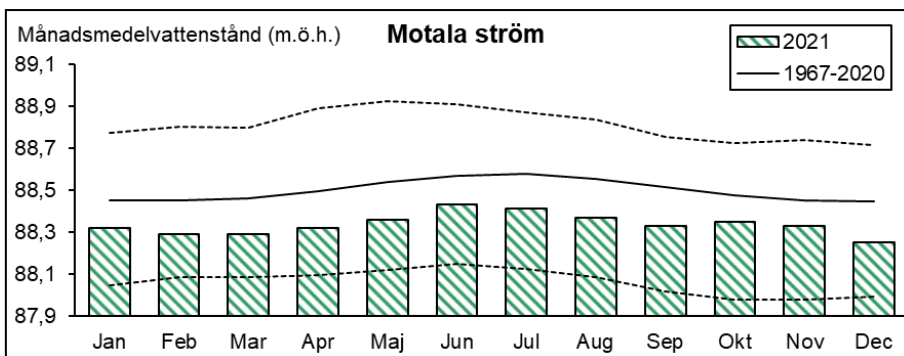


Figur 4. Årsmedelvattenstånd i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 154) för åren 1967-2021 (staplar) samt medelvärde för perioden 1967-2020 (heldragen linje).

Jämfört med månadsmedelvärden under åren 1967-2020 var medelvattenståndet år 2021 lägre än dessa samtliga månader under året (figur 5). Skillnaden jämfört med medelvattenståndet var störst i december samt minst i oktober och november. De relativt låga vattenstånden kan åtminstone delvis kopplas till mindre nederbördsmängder än normalt (figur 2 och figur 3), men även vindförhållanden har betydelse för vattenståndets förändringar i Vättern.



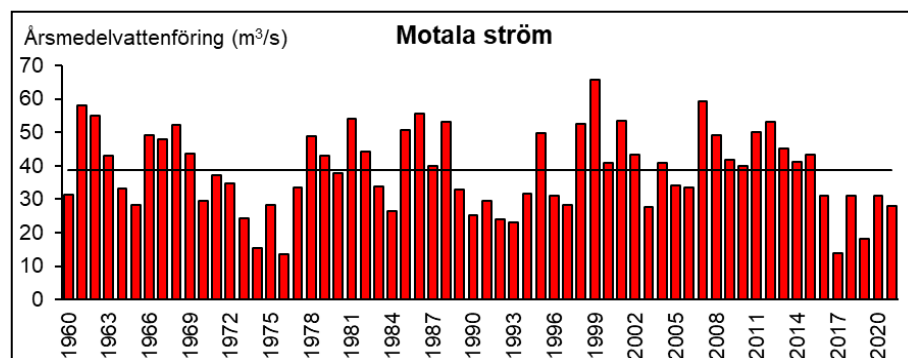
Figur 5. Månadsmedelvattenstånd i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 154) år 2021 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1967-2020 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1967-2020.



Figur 5. Månadsmedelvattenstånd i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 154) år 2021 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1967-2020 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1967-2020.

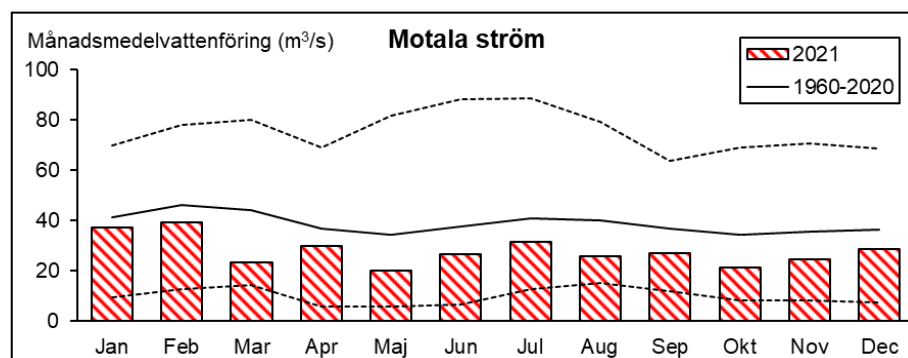
Vattenföring

Årsmedelvattenföringen i Vätterns utlopp (SMHI-station 1950) var 28 m³/s år 2021, vilket var 72% av medelvärdet för perioden 1960-2020 på 39 m³/s (figur 6). Under perioden 1960-2021 följde utvecklingen för årsmedelvattenföringen (figur 6) och årsmedelvattenståndet (figur 4) varandra väl. I likhet med vattenståndet noterades den lägsta årsmedelvattenföringen (14 m³/s) år 1976 och den högsta (66 m³/s) år 1999.



Figur 6. Årsmedelvattenföring i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 1950) för åren 1960-2021 (staplar) samt medelvärde för perioden 1960-2020 (heldragen linje).

Jämfört med medelvärden för perioden 1960-2020 var månadsmedelvattenföringen år 2021 lägre samtliga månader under året (figur 7). Medelvattenföringen varierade mellan 20,2 m³/s i maj och 39,5 m³/s i februari (figur 7). Att vattenföringen (och vattenståndet) var lägre än vanligt kan åtminstone delvis kopplas till mindre nederbördsmängder än normalt (figur 2 och figur 3).



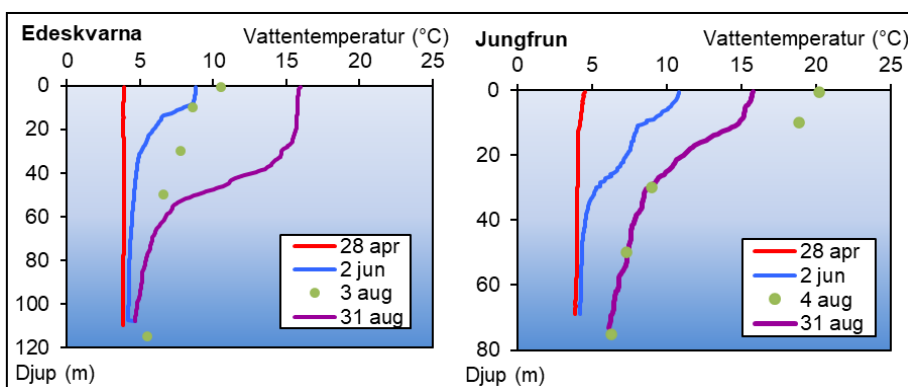
Figur 7. Månadsmedelvattenföring i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 1950) år 2021 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1960-2020 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1960-2020.

Temperatur

År 2021 var medeltemperaturen vid SMHI:s väderstation på Visingsö (8405) 7,8 °C, vilket var 1,3 °C varmare än normalvärdet för perioden

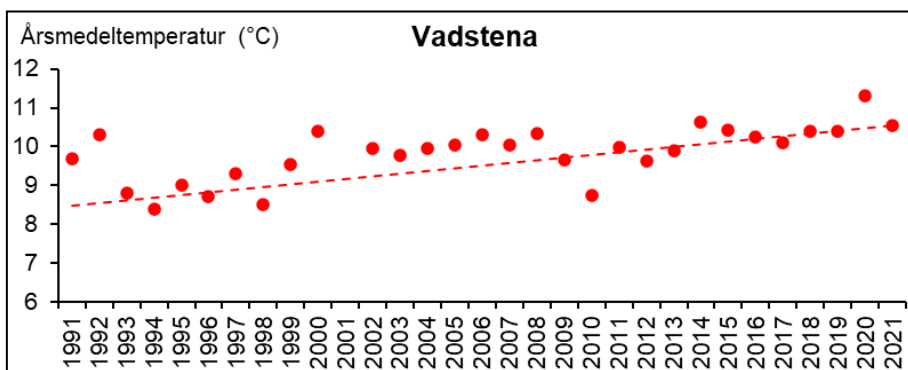
1961-1990, men bara 0,3 °C varmare jämfört med 1991-2020. Vid jämförelse med 1961-1990 var bara december kallare än vanligt, men jämfört med 1991-2020 var även januari och februari, april och maj samt augusti någon grad svalare år 2021.

I slutet av april var temperaturen mindre än en grad högre på en meters djup jämfört med 109 (Edeskvärna) respektive 69 (Jungfrun) meters djup (figur 8), varför vattenmassan cirkulerade. I början av juni hade det ytliga vattnet börjat värmas upp, men något temperatursprångskikt (per definition ska temperaturen skilja mer än en grad per meter) fanns inte. Tyvärr saknas data från provtagningen i början av augusti. Inte heller i slutet av augusti kunde något temperatursprångskikt konstateras (figur 8).



Figur 8. Temperaturprofiler vid stationerna Edeskvärna (1) och Jungfrun (2) år 2021.

Vid råvattenintaget Vadstena vattenverk görs det dagliga mätningar av vattentemperaturen. Under perioden 1991-2021 ökade årsmedeltemperaturen med cirka två grader (figur 9).



Figur 9. Årsmedeltemperatur vid råvattenintaget till Vadstena vattenverk (fem meters djup) åren 1991-2021. Den streckade linjen är en linjär regression.

Vattenkvalitet i Vättern

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SGS Analytics Sweden AB

Sammanfattning

Generellt var vattenkvaliteten i Vättern mycket bra år 2021 med mycket låga eller låga halter av näringsämnet fosfor, klorofyll (mätt på algmängden), organiskt material (t.ex. humus och alger) och metaller. Vattnet bedömdes som syrerikt och var ej eller obetydligt färgat och ej eller obetydligt grumligt samt hade ett mycket stort siktdjup. pH-värdet påvisade nära neutrala förhållanden och buffertkapaciteten klassades som mycket god. Den enda variabel som förekom i något förhöjda halter var kväve, där halterna huvudsakligen var måttligt höga. Statusklassning av ”Näringsämnen”, ”Siktdjup”, ”Syrgas” och ”Klorofyll” för treårsperioden 2019-2021 gav hög status för både sjöns södra (Edeskvarna) och norra (Jungfrun) del.

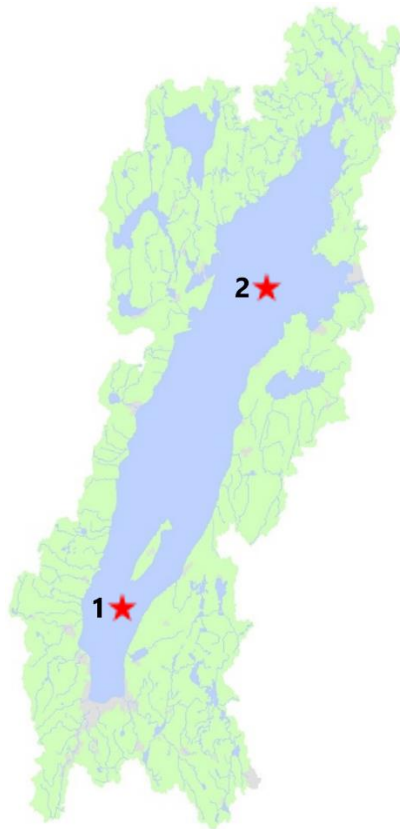
Från 1970-talets slut till 1990-talets början minskade fosforhalterna medan kvävehalterna ökade, vilket gav ökat kväveöverskott. Från 1990-talets senare del minskar även kvävehalterna svagt. Av okänd anledning uppvisar vattenfärgen (mätt som absorbans) en långsiktigt minskande trend, vilket avspeglas i ökande siktdjup, som dock alltid varit mycket stort. Halterna av organiskt material och klorofyll var stabilt mycket låga respektive låga.

★★Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SGS Analytics Sweden AB i samarbete med Medins Havs- och Vattenkonsulter AB 2021 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid två stationer i Vättern (figur 1). Vid Edeskvarna i sjöns södra del påbörjades undersökningarna år 1966 medan stationen vid Jungfrun i sjöns norra del tillkom år 1978.

Metodik

Provtagningen utfördes av personal från Medins Havs- och Vattenkonsulter AB 28 april, 2 juni, 3-4 augusti samt 31 augusti 2021. Vattenproverna togs med en Limnoshämtare kopplad till vinsch eller handlina. Vattentemperatur, syrgashalt och -mättnad samt siktdjup mättes i fält medan flertalet övriga analyser utfördes vid SGS' laboratorium i Linköping (ackrediteringsnummer 1006). Kvicksilver analyserades vid IVL Svenska Miljöinstitutet AB i Göteborg.



Figur 1. De två stationerna vid Edeskvarna (1) och Jungfrun (2) i Vättern.

Resultaten från 2021 års undersökningar utvärderades i enlighet med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Dessutom statusklassades kvalitetsfaktorerna "Näringsämnen i sjöar", "Siktdjup i sjöar" och "Syrgas i sjöar och vattendrag" samt parametern "Klorofyll" under kvalitetsfaktorn "Växtplankton i sjöar" för treårsperioden 2019-2021 i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Värden från 0,5 och 10 meters provtagningsdjup användes, fransett för syre där bedömningen avser resultat från en meter över botten. Jämförelse gjordes även med bedömningsgrunder för "särskilda förorenande ämnen" (ammoniak, arsenik, koppar, krom och zink) samt gränsvärden för "prioriterade ämnen" (bly, kadmium, kvicksilver och nickel) i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Enligt föreskrifterna ska vattenprover för analys av nämnda metaller filtreras genom ett 0,45 µm filter, vilket inte görs i detta projekt. För koppar, zink, bly och nickel beräknades biotillgängliga halter utifrån värden för pH, DOC (löst organiskt kol) och kalcium med hjälp av "Bio-met Bioavailability Tool" (version 5.0). I detta projekt analyseras bara TOC (totalt organiskt kol), varför denna variabel användes i stället för DOC.

För studier av tidsserier hämtades data för Edeskvarna och Jungfrun från Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala (miljodata.slu.se/mvm/), som är datavärd. För flertalet analysvariabler beräknades min-, medel- och maxvärden för prover tagna på 0-10 meters djup för respektive år. För variablerna fosfor, kväve, klorofyll, organiskt

material (TOC) och vattenfärg (mätt som absorbans vid 420 nm med 5 cm kyvett i filtrerat vatten) användes resultat från april t.o.m. september varje år. För kväve/fosfor-kvot utvärderades resultat från juni t.o.m. september respektive år i enlighet med vad som anges i Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Tidsserierna utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test.

I tidsserierna för fosfor gjordes en korrektion på $-1,2 \mu\text{g/l}$ för alla värden under maj 1991 t.o.m. maj 1996 p.g.a. ett systematiskt fel vid SLU:s laboratorium (Måns Lindell, muntligen). Analys av Kjeldahlkväve utfördes t.o.m. år 2003. Analys av totalkväve (persulfatmetoden) påbörjades i juli 1987. Från tidsseriernas startår t.o.m. år 2003 beräknades därför totalkvävehalten som summan av halten Kjeldahlkväve (organiskt kväve+ammoniumkväve) och nitrit-+nitratkvävehalten. För juli 1987 t.o.m. år 2003 beräknades förhållandet mellan totalkvävehalten beräknad som summan av Kjeldahlkväve och nitrit-+nitratkväve och de parallella analyserna av totalkväve (persulfatmetoden) som en faktor (1,06 för både Edeskvärna och Jungfrun). För åren 2004-2021 beräknades totalkvävehalten som totalkvävehalten (persulfatmetoden) multiplicerad med denna faktor. Ett fåtal värden för fosfor och kväve bedömdes inte vara representativa (så kallade outliers). Dessa värden sattes inom parentes och ingår därmed inte i beräkningar och utvärdering i denna rapport. Halten organiskt material analyserades som permanganattal (KMnO_4) t.o.m. år 1995. Under åren 1996 t.o.m. 2000 gjordes parallella analyser av permanganattal och totalt organiskt kol (TOC). Sedan år 2001 analyseras endast TOC. Permanganattalet dividerat med 3,95 ger halten COD_{Mn} som ungefär motsvarar TOC-halten. För att få en bättre överensstämmelse beräknades förhållandet mellan TOC och COD_{Mn} under åren 1996-2000 som en faktor (1,48 för Edeskvärna och 1,52 för Jungfrun). För åren före 1996 beräknades TOC-halten som halten COD_{Mn} multiplicerad med denna faktor.

Resultat och diskussion

TILLSTÅNDSBEDÖMNING OCH STATUSKLASSNING

Generellt var vattenkvaliteten i Vättern mycket bra år 2021 (tabell 1). Halterna av näringsämnet fosfor, liksom klorofyllhalterna (ett grovt mått på algmängden), bedömdes som låga. Halterna av syreförbrukande organiskt material (t.ex. humus och alger) var mycket låga och syrehalterna påvisade syrerikt tillstånd. De små mängderna humus och alger medförde att vattnet huvudsakligen klassades som ej eller obetydligt färgat och ej eller obetydligt grumligt med ett mycket stort siktdjup. Vattnets pH-värde påvisade nära neutralt tillstånd och buffertkapaciteten var mycket god. Halterna av flertalet analyserade metaller var mycket låga. Dock klassades flertalet kopparhalter som låga.



Figur 1. Vy över Vättern från Gränna (foto: Sascha Gidlöf).

Den enda variabel som förekom i något förhöjda halter var kväve, där halterna oftast var måttligt höga (tabell 1). Orsaken till de måttligt höga kvävehalterna är sannolikt att andelen sjöyta inom avrinningsområdet är stor (35% enligt SMHI:s Vattenwebb), varför en stor kvävekälla är nedfall från luften direkt på sjöytan. Dessutom sker stor tillförsel av kväve från jordbruksmark runt sjön. Höga kvävehalter kombinerat med låga fosforhalter gav kväveöverskott. Kväveöverskott innebär mycket liten risk för blomning av potentiellt giftbildande cyanobakterier (blågrönalger), vilket även undersökningarna av växtplankton bekräftade.

Statusklassning av kvalitetsfaktorerna ”Näringsämnen i sjöar”, ”Siktdjup i sjöar” och ”Syrgas i sjöar och vattendrag” samt parametern ”Klorofyll” under kvalitetsfaktorn ”Växtplankton i sjöar” gav överlag hög status vid både Edeskvarna och Jungfrun (tabell 1).

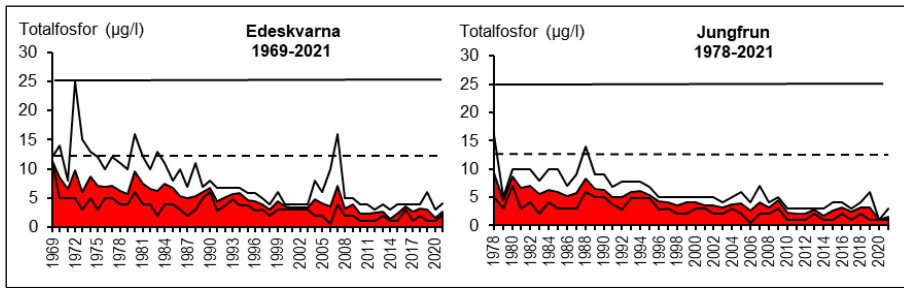
År 2021 överskred varken ammoniak (omräknat från ammoniumkväve), arsenik, koppar, krom och zink eller bly, kadmium, kvicksilver och nickel bedömningsgrunder eller gränsvärden i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25).

Tabell 1. Lägsta och högsta värde för olika analysvariabler vid 2021 års undersökning av fysikalisk-kemisk vattenkvalitet vid de båda stationerna i Vättern (Edeskvarna och Jungfrun) samt tillstånds- respektive statusklassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999) och Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25)

Analysvariabel	Min- och maxvärde 2021	Tillståndsklass 2021	Statusklass 2019-2021
Totalfosfor, µg/l	<2 - 4	Låga halter	Hög
Totalkväve, µg/l	520 - 720	Måttligt höga – (höga) halter	
Kväve/fosfor-kvot	127 - 280	Kväveöverskott	
Klorofyll, µg/l	<1,0 – 1,3	Låga halter	Hög
Organiskt material (TOC), mg/l	2,1 – 2,6	Mycket låga halter	
Syrgashalt, mg/l (1 m över botten)	11,3 – 13,1	Syrerikt tillstånd	Hög
Färg (abs. filtr. 420 nm/5 cm)	0,007 - 0,064	Ej eller obetydligt-(måttligt) färgat vatten	
Turbiditet, FNU	0,16 – 0,66	Ej eller obetydligt – (svagt) grumligt vatten	
Siktdjup, m	9,9 – 16,2	Mycket stort siktdjup	Hög
Alkalinitet, mekv/l	0,57 - 0,61	Mycket god buffertkapacitet	
pH-värde	7,7 - 7,9	Nära neutralt	
Koppar, µg/l	0,49 – 0,57	(Mycket låga) - låga halter	
Zink, µg/l	1,1 – 1,4	Mycket låga halter	
Kadmium, µg/l	0,003 – 0,004	Mycket låga halter	
Bly, µg/l	0,009 - 0,026	Mycket låga halter	
Krom, µg/l	0,042 - 0,064	Mycket låga halter	
Nickel, µg/l	0,44 – 0,48	Mycket låga halter	
Arsenik, µg/l	0,14 - 0,16	Mycket låga halter	

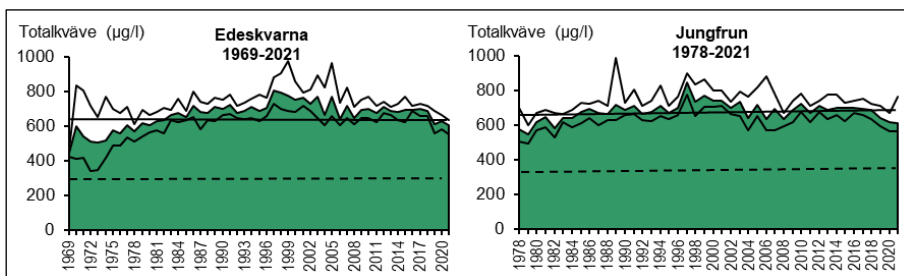
NÄRINGSÄMNINGEN

Mellan åren 1969 och 2021 uppvisade årsmedelhalterna av fosfor en minskande trend vid Edeskvarna, vilket även gällde Jungfrun 1978-2021 (figur 2). Samtliga medelhalter var låga. Vid båda stationerna låg 2021 års halter på samma nivå som, eller var till och med lägre än, under den senaste tolvårsperioden. Vid Edeskvarna var minskningen statistiskt signifikant på trestjärnig nivå ($p < 0,001$) under hela perioden 1969-2021 till och med 1995-2021, men under åren 1996-2021 till och med 2004-2021 bara på två- ($p < 0,01$) eller enstjärnig ($p < 0,05$) nivå. Vid Jungfrun var minskningen statistiskt signifikant på trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under perioden 1978-2021 till och med 1997-2021, men under åren 1998-2021 till och med 2004-2021 bara på två- ($p < 0,01$) eller enstjärnig ($p < 0,05$) nivå. Minskande fosforhalter kan bland annat bero på uppförande av reningsverk, minskad glesbygdsbefolkning, bättre standard på enskilda avlopp och omställning av jordbruk.



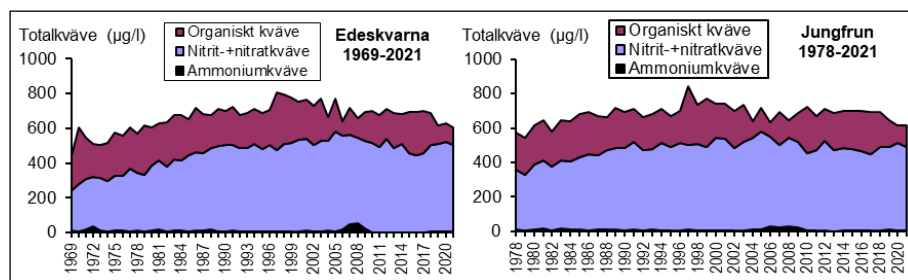
Figur 2. Årsmedelhalter av totalfosfor (röd yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2021) och Jungfrun (1978-2021). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Över heldragen linje är halterna höga.

Vid Edeskvärna ökade årsmedelhalterna av kväve tydligt från måttligt höga halter under 1970-talet till huvudsakligen höga halter därefter (figur 5). Ökningen var statistiskt signifikant på trestjärnig nivå ($p < 0,001$) under perioden 1969-2021 till och med 1971-2021, men efter 1975 finns ingen säkerställd ökning ens på enstjärnig nivå ($p < 0,05$). Under perioden 1988-2021 till och med 2002-2021 minskade emellertid kvävehalterna med statistisk signifikans på en- ($p < 0,05$), två- ($p < 0,01$) eller trestjärnig ($p < 0,001$) nivå vid Edeskvärna. Vid Jungfrun bedömdes kvävehalterna oftast som höga under perioden 1978-2021, men var åren 2020 och 2021 måttligt höga för första gången sedan 1982 (figur 3). Åren 1989-2021 till och med 2001-2021 minskade kvävehalterna vid Jungfrun med en- ($p < 0,05$), två- ($p < 0,01$) eller trestjärnig ($p < 0,001$) signifikans, vilket även gällde 2012-2021 till och med 2017-2021.



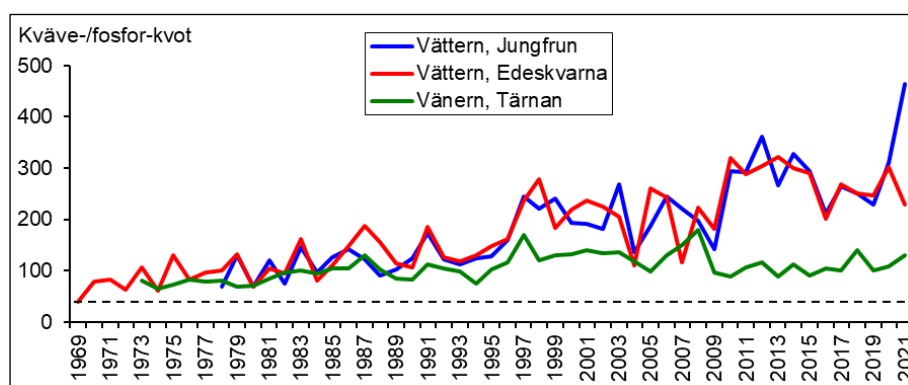
Figur 3. Årsmedelhalter av totalkväve (grön yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2021) och Jungfrun (1978-2021). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Över heldragen linje är halterna höga.

Kvävetts fördelning på olika fraktioner, ammoniumkväve, nitrit-+nitratkväve och organiskt kväve, framgår av figur 4. Dominerande fraktion var nitrit-+nitratkväve. Vid både Edeskvärna och Jungfrun ökade denna andel tydligt till och med år 2005, men uppvisar därefter en huvudsakligen minskande tendens. Halten ammoniumkväve, som under vissa betingelser kan omvandlas till ammoniak, som också är skadligt för fisk, var hela tiden mycket låg.



Figur 4. Årsmedelhalter av kväve och fördelning på olika kvävefraktioner, ammoniumkväve, nitrit- + nitratkväve och organiskt kväve, vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2021) och Jungfrun (1978-2021).

Division av halterna av kväve och fosfor ger kväve-/fosfor-kvoten, vilken säger något om risken för blomning av potentiellt giftbildande blågrönalger. Vid stationerna i Vättern var medelkvoten undantagslöst avsevärt högre än 30, vilket även gällde Tärnan i Vänern (figur 5). Detta innebär mycket liten risk för giftalgblooming. Beroende på minskande medelhalter av fosfor och ökande, eller huvudsakligen stabila, kvävehalter uppvisar kvoten en ökande trend. Ökningen är mycket större för Vättern än för Vänern, där medelhalterna av kväve uppvisar en tydligare nedåtgående trend sedan 1990-talets slut.

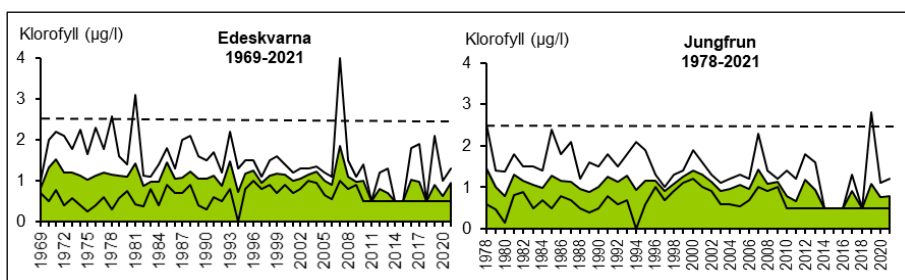


Figur 5. Kväve/fosfor-kvot (årsmedelvärden för juni t.o.m. september) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2021) och Jungfrun (1978-2021) samt stationen Tärnan i Vänern (1973-2021). Streckad linje anger gränsen mellan kväve-fosfor-balans och kväveöverskott enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

KLOROFYLL

Klorofyll ger ett grovt mått på algmängden (främst växtplankton). Vid båda stationerna i Vättern bedömdes samtliga årsmedelhalter som låga och endast vid några enstaka provtagningar vid Edeskvärna samt i maj 2019 vid Jungfrun var halterna måttligt höga (figur 6). Vid Edeskvärna var medelhalterna under perioden 2011-2020 bland de lägsta i tidsserien, medan de vid Jungfrun främst var lägre åren 2014-2018. De låga klorofyllhalterna står i överensstämmelse med de låga fosforhalterna, eftersom fosfor är det begränsande ämnet för biologisk produktion i Vättern. För både Edeskvärna och Jungfrun finns en statistiskt säkerställd minskande trend på främst två- ($p < 0,01$) och trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under hela perioden

1969-2021 till och med 2004-2021 respektive tvåstjärnig nivå 1978-2021 till och med 2002-2021.



Figur 6. Årsmedelhalter av klorofyll (ljusgrön yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2021) och Jungfrun (1978-2021). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga klorofyllhalter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

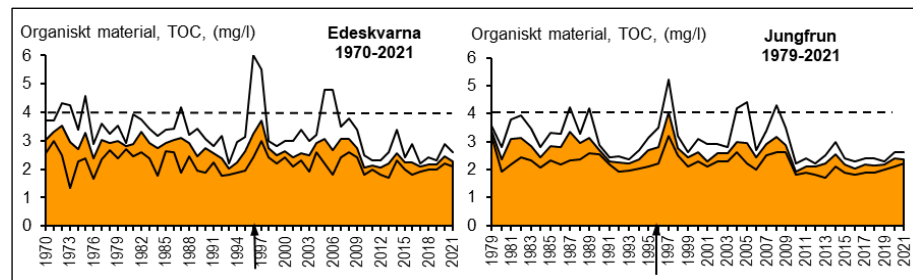


Figur 7. Provtagning för översiktlig algalanalys (foto: SGS). Observera att provet inte tas i Vättern.

ORGANISKT MATERIAL OCH SYRE

Det organiska materialet har sitt ursprung antingen i sjön, till exempel alger, eller från omgivande mark, främst humus. I näringsfattiga sjöar som Vättern är det främst humus som bidrar till halten av organiskt material. Vid nedbrytning av det organiska materialet förbrukas syre. Det finns flera analysvariabler som mäter halten av organiskt material. I vatten från sjöar och vattendrag är det numera vanligast med analys av TOC (totalt organiskt kol). Tidigare analyserades COD_{Mn} (kemisk syreförbrukning) eller $KMnO_4$ (permanganattal). Permanganattalet dividerat med 3,95 är lika med COD_{Mn} . Vid de båda stationerna i Vättern var årsmedelhalterna av organiskt material mycket låga (figur 8) under hela perioden 1970-2021 (Edeskvärna) respektive 1979-2021 (Jungfrun). Vid båda stationerna var

medelhalterna åren 2010-2021 några av de lägsta i tidsserierna, fränsett 2014 och 2020 års halter som var aningen högre. För Edeskvärna finns en statistiskt signifikant minskande trend på varierande tre- ($p < 0,001$), två- ($p < 0,01$) och enstjärnig ($p < 0,05$) nivå under hela perioden 1970-2021 till och med 1988-2021 samt på två- och enstjärnig nivå 1993-2021 till och med 1998-2021. Också för Jungfrun finns en minskande trend på varierande tre-, två- och enstjärnig nivå för flertalet år under perioden 1979-2021 till och med 2002-2021. Syretillgången räcker väl till för nedbrytningen av de mycket låga halterna av organiskt material och syretillståndet i bottenvattnet bedömdes som syrerikt vid alla mätningar.



Figur 8. Årsmedelhalter för organiskt material, analyserat som TOC, (orange yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1970-2021) och Jungfrun (1979-2021). Streckad linje anger gräns mellan mycket låga och låga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Pil anger byte av analysmetod från KMnO_4 till TOC.

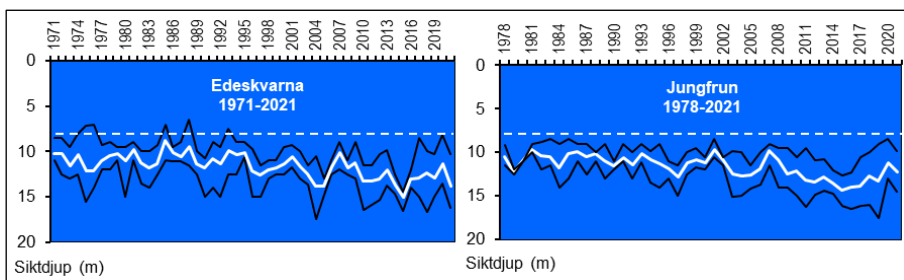


Figur 10. Provtagning av vatten för analys av syre enligt Winklermetoden (foto: SGS).

LJUSFÖRHÅLLANDEN

Ljusförhållandena påverkar livsbetingelserna för många organismer, både direkt och indirekt. Ljusförhållanden kan mätas med variablerna siktdjup, grumlighet/turbiditet och färgtal/absorbans. Nedan redovisas förhållandena i Vättern avseende siktdjup och absorbans. Siktdjupet visar hur ljusets nedträngning i vattnet sammantaget påverkas av vattenfärg och grumlighet. I Vättern klassades siktdjupet som mycket stort (figur 11) vid nästan samtliga provtagningar under perioden 1971-2021 (Edeskvärna) och 1978-2021 (Jungfrun). De enda undantagen var vid fem tillfällen vid Edeskvärna under åren 1975-1993, då siktdjupet var stort (figur 11). Det syns inga

tydliga variationer i siktdjup mellan årstider. Vid Edeskvarna uppvisade siktdjupet en ökande trend med statistisk signifikans på främst trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under hela perioden 1971-2021 till och med 19943-2021. Vid Jungfrun var ökningen också statistiskt säkerställd på främst trestjärnig nivå under hela perioden 1978-2021 till och med 2001-2021. Det ökande siktdjupet kan delvis förklaras av minskande färgtal/absorbans (se nästa stycke). Vid Jungfrun syns även en statistiskt signifikant trend mot minskande siktdjup på enstjärnig nivå ($p < 0,05$) för åren 2014-2021 till och med 2016-2021.



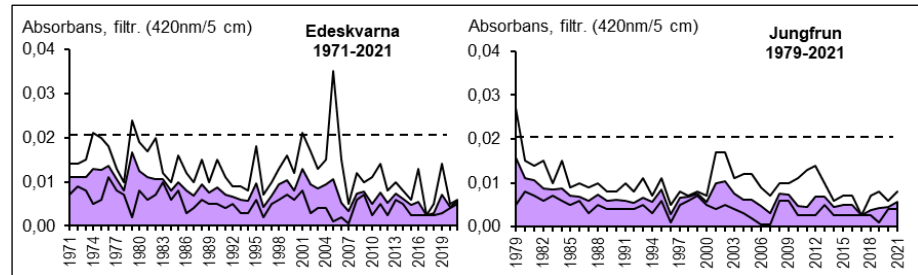
Figur 11. Årsmedelvärden för siktdjup (vit linje) med min- och maxvärden (svarta linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvarna (1971-2021) och Jungfrun (1978-2021). Streckad linje anger gräns mellan stort och mycket stort siktdjup enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 12. Mätning av siktdjup med siktiskiva och vattenkikare (foto: SGS).

Färgtalet avspeglar vattnets innehåll av humus och järn. Färgtalet bestäms visuellt i en färgkomparator eller mäts som absorbans i en spektrofotometer. I Vättern tillämpas numera endast metoden med mätning av absorbans (filtrerat vatten, 420 nm våglängd, 5 cm kyvett). Årsmedelvärdena för absorbans påvisade ej eller obetydligt färgat vatten (figur 15) under hela perioden 1971-2021 (Edeskvarna) och 1979-2021 (Jungfrun). Vid både Edeskvarna och Jungfrun var 2021 års medelvärden ungefär desamma som medelvärdet för respektive tidsserie (figur 15). Vättern är en stor och djup sjö med mycket lång omsättningstid (cirka 60 år), vilket ger goda förutsättningar för självrening av humusämnen genom nedbrytning och

sedimentation. Absorbansen uppvisar en långsiktigt tydligt minskande trend vid både Edeskvarna och Jungfrun (figur 13), men denna var statistiskt säkerställd på trestjärnig ($p < 0,001$) nivå endast mellan åren 1971-2021 till och med 1983-2021 samt 1997-2021 till och med 1999-2021 vid Edeskvarna och 1979-2021 till och med 1982-2021 vid Jungfrun. Den minskande absorbansen kan delvis förklara det ökande siktdjupet (se stycket ovan). Orsak till den minskande absorbansen är inte känd.



Figur 13. Årsmedelvärden för absorbans (lila yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvarna (1971-2021) och Jungfrun (1979-2021). Streckad linje anger gräns mellan ej eller obetydligt och svagt färgat vatten enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 14. Vattenprovtagning med Ruttnerhämtare (foto: SGS).

Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SGS Analytics Sweden AB

Sammanfattning

År 2021 uppmättes extremt hög respektive mycket hög medelhalt av näringsämnet fosfor i de jordbrukspåverkade vattendragen Ålebäcken, Lillån (Bankeryd) och Malmabäcken. För Ålebäcken klassades även näringsstatusen (2019-2021) som otillfredsställande, vilket även gällde Lillån, medan Malmabäcken (och Huskvarnaån) erhöll måttlig näringsstatus. Även Röttleån hade otillfredsställande näringsstatus, medan den var god eller hög vid övriga provplatser. Ålebäcken och Lillån hade även extremt höga medelhalter av kväve. Samtliga provplatser med mycket höga kvävehalter hade även mycket höga (Malmabäcken) eller höga fosforhalter. I Lillån, Munksjöns utlopp och Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk i Bankeryd, Jönköping (Simsholmen) respektive Huskvarna till främst haltförhöjningen av kväve. Avloppsvatten från reningsverk innehåller ofta höga halter av ammoniumkväve. Ammonium kan omvandlas till ammoniak, som båda är giftiga för fisk och dessutom syreförbrukande. Halterna av ammoniakkväve överskred gränsen för god status i Lillån (både som årsmedelvärde och maximalt enskilt värde) samt Mjölnaån och Ålebäcken (årsmedelvärde). Trots huvudsakligen måttligt höga eller höga halter av syreförbrukande organiskt material (analyserat som TOC) förekom ingen syrebrist år 2021. Som lägst noterades svagt syretillstånd i Malmabäcken, Huskvarnaån och Lillån samt måttligt syrerikt tillstånd i Orrnäsaån, Domneån och Ålebäcken, medan det var syrerikt i övrigt. Syrgasstatusen (2019-2021) bedömdes som hög för alla provplatser utom sex. Ålebäcken, Orrnäsaån, Huskvarnaån, Domneån och Malmabäcken fick god syrgasstatus, medan den klassades som måttlig för Lillån. Medelhalterna av metaller var oftast mycket låga eller låga år 2021. I Kärrafjärdens utlopp uppmättes dock höga medelhalter av bly och zink till följd av verksamheten vid Zinkgruvan. Även i Alsens utlopp förekom strax över gränsen till måttligt höga medelhalter av bly och zink, vilket även gällde koppar i Malmabäcken. I utloppen av Kärrafjärden och Alsen överskred 2001 års medelvärden för zink gränsen för god status.

Vid studier av tidsserier för 2000-talet var den statistiskt mest signifikanta trenden för organiskt material (TOC) minskande årsmedelhalter i Hjoån (från höga till måttligt höga halter). Även Vätterns utlopp, Motala ström, uppvisade minskade TOC-halter (inom klassen mycket låga halter), liksom Malmabäcken (från måttligt höga till låga halter, som dock åter var måttligt hög år 2021). Den mest statistiskt säkra ökande trenden gällde Mjölnaån (från hög till mycket hög halt).

Statistiskt signifikant minskande trender för årsmedelhalter av fosfor under 2000-talet gällde främst Ålebäcken och Malmabäcken, där fosforhalterna minskade inom klassen extremt höga halter respektive från extremt höga till höga halter. Statistiskt säkra ökande trender förekom främst i Munksjöns utlopp och Hjoån, där medelhalterna av fosfor ökade från måttligt höga till höga respektive inom klassen höga halter.

Den mest signifikant minskande trenden för totalkväve under 2000-talet noterades för Malmabäcken, där medelhalterna huvudsakligen minskade inom klassen mycket höga halter. Trenderna mot ökande kvävehalter var tydligast i Hjoån, Orrnäsaån och Huskvarnaån, där de var mycket höga i början och slutet av 2000-talet, men höga däremellan. I Lillån syntes ett liknande mönster, men där minskade kvävehalterna från extremt höga till mycket höga och ökade sedan åter till extremt höga. I utloppen av Kärrafjärden och Alsen var 2021 års kvävehalter 2000-talets högsta.

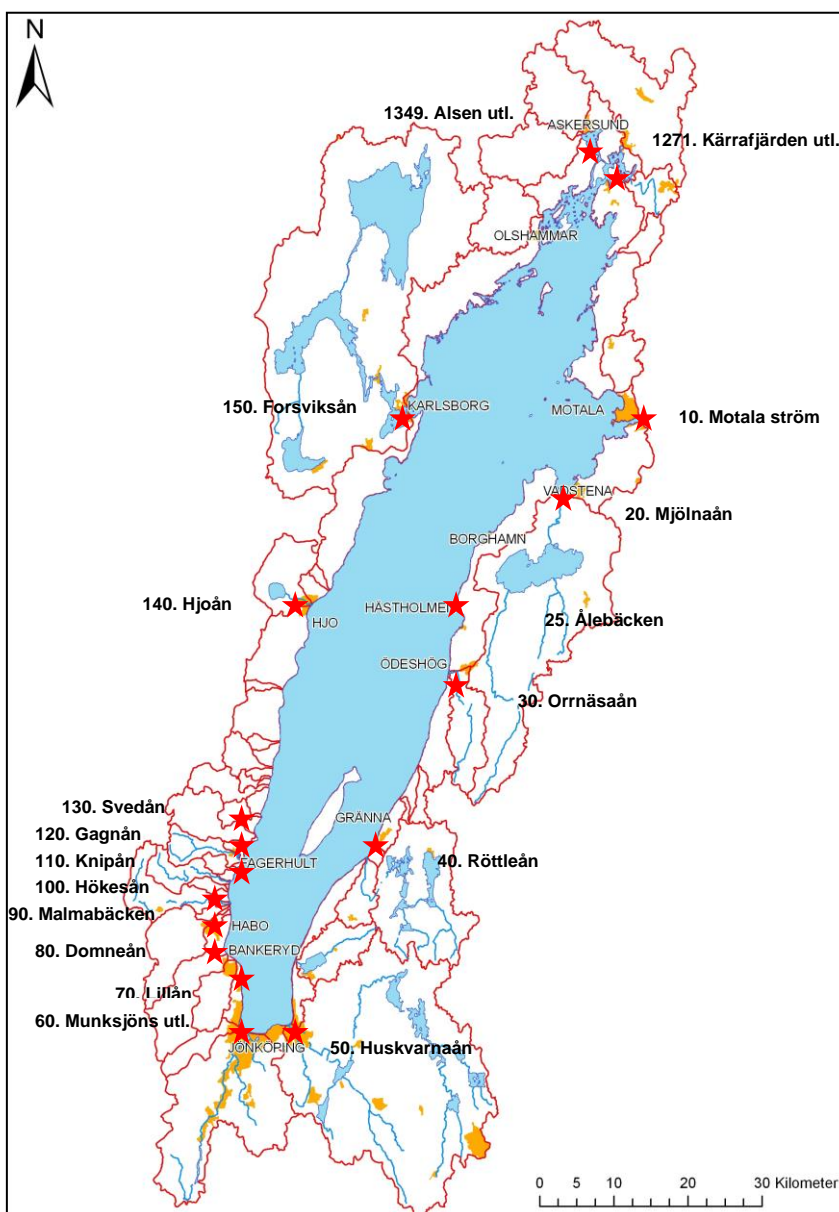
För 12 av 16 stationer där ammoniumkväve analyserats fanns signifikant minskande medelhalter av ammoniumkväve under 2000-talet, men tydligast i utloppen ur Munkjön och Alsen. Vid flertalet provplatser var medelhalterna av ammoniumkväve mycket låga eller låga under hela 2000-talet. I Huskvarnaån, Ålebäcken och Domneån minskade medelhalterna av ammoniumkväve från måttligt höga till låga under 2000-talet. I Munksjöns utlopp klassades medelhalterna av ammoniumkväve oftast som höga, men har sedan år 2017 bedömts som måttligt höga eller låga. I Munksjöns utlopp och Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk till förhöjda ammoniumkvävehalter, medan det i Ålebäcken troligen främst gäller tillskott från gödsel.

De statistiskt mest säkra minskande trenderna avseende metaller under 2000-talet gäller Malmabäcken (kadmium, koppar, krom och nickel), Kärrafjärdens utlopp (koppar och krom), Motala ström (arsenik och zink), Lillån (koppar), Huskvarnaån (arsenik), Forsviksån (krom) och Alsens utlopp (krom), men årsmedelhalterna var oftast mycket låga eller låga. I Malmabäcken minskade dock årsmedelhalterna av koppar från höga till främst måttligt höga. I Malmabäcken minskade även medelhalterna av bly och zink från måttligt höga till låga. Detsamma gällde koppar och bly i Lillån.

Ökande halter syntes främst för nickel i Huskvarnaån samt utloppen av Kärrafjärden och Vättern vid Motala ström, men medelhalterna var som mest låga. De högsta metallhalterna under 2000-talet noterades i Kärrafjärdens utlopp, där halterna av zink och bly oftast varit höga beroende på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan Mining.

Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SGS i samarbete med Länsstyrelsen i Jönköpings län 2021 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt vid en station i utloppet, Motala ström (figur 2). Vid utloppet samt hälften av stationerna i tillflöden påbörjades undersökningarna redan år 1966/1967 och har pågått sedan dess. Vid stationerna i Orrnäsaån, Hökesån och Hjoån gjordes dock ingen provtagning under perioden 1979-1985. Tidsserierna för övriga stationer har oftast startår 1986 eller 1996, medan en station (Ålebäcken) började undersökas så sent som 2000.



Figur 1. De 17 stationerna i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström. Koordinater (enligt RT 90 2,5 gon V) återfinns i tabell 1.

Metodik

Vid utloppet och flertalet provplatser i tillflödena togs vattenprover av personal från Länsstyrelsen i Jönköpings län. I Lillån (Bankeryd) och Mal-mabäcken utfördes provtagningen av provtagare från SGS, medan pro- verna från utloppen av Alsen och Kärrafjärden togs av provtagare från Medins Havs- och Vattenkonsulter AB. Vattentemperatur, syrgashalt och -mättnad mättes i fält med elektrod, medan övriga analyser huvudsakligen utfördes vid SGS. Kvicksilver analyserades vid IVL Svenska Miljöinstitu- tet AB. Analys av prover från referensvattendragen Svedån och Domneån gjordes vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

För tidsseriestudier hämtades data från Institutionen för vatten och miljö, SLU, som är datavärd (www.slu.se/vatten-miljo). För organiskt material (TOC), totalfosfor, totalkväve och kvävefraktioner (ammoniumkväve, ni- trit- och nitratkväve samt organiskt kväve) beräknades årsvisa min-, me- del- och maxvärden som sammanställdes i diagram för varje station. För stationer där metaller analyserats, beräknades min-, medel- och maxvärden för arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Sta- tistisk analys av tidsserier gjordes med Mann-Kendall-test.

Resultaten från 2021 års undersökning utvärderades enligt Naturvårdsver- kets bedömningsgrunder (1999). Dessutom gjordes statusklassning av kvalitetsfaktorena ”Näringsämnen i vattendrag” och ”Syrgas i sjöar och vattendrag” för treårsperioden 2019-2021 enligt Havs- och Vattenmyndig- hetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Fosfor och kväve i vattendrag klas- sas enligt bedömningsgrunderna från 1999 utifrån så kallade arealspecifika förluster (se kapitlet ”Ämnestransporter och arealspecifika förluster”), men för överskådlighetens skull bedöms nedan även halter. Bedömning av halterna av metallerna arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink gjordes även i enlighet med Havs- och Vattenmyndighet- ens föreskrifter (HVMFS 2019:25). För bly, koppar, nickel och zink be- räknades biotillgängliga halter via ”Bio-met Bioavailability Tool” (version 5.0). Vid beräkningarna, som här avser ofiltrerade prov, sattes DOC lika med TOC och bakgrundshalter av zink och arsenik sattes till 2 respektive 0,2 µg/l, vilket var 2021 års medelhalt i Vätterns utlopp vid Motala ström.

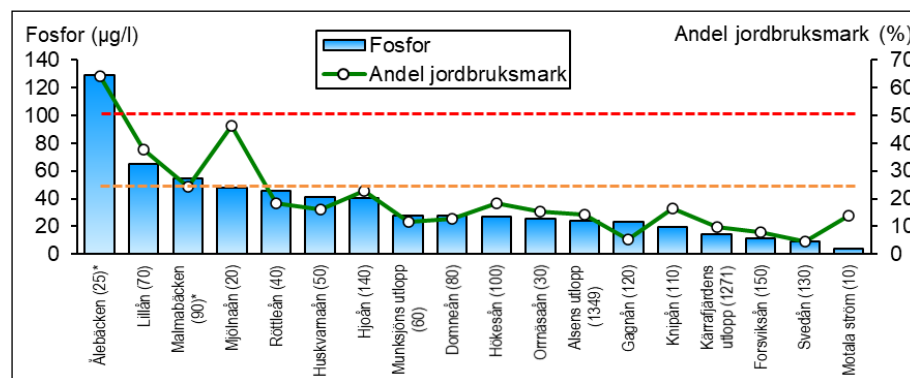


Figur 2. Huskvarnaån vid Ylens utlopp (foto: SGS).

Resultat och diskussion

TILLSTÅNDSBEDÖMNING OCH STATUSKLASSNING ÅR 2021

År 2021 uppmättes extremt hög medelhalt av näringsämnet fosfor i Ålebäcken (figur 3), vilket var fallet även åren 2010-2020. Ålebäcken avvattnar jordbruksområden söder om Tåkern. I Ålebäckens avrinningsområde är andelen jordbruksmark troligen 60-70% (området finns inte som egen vattenförekomst i SMHI:s Vattenwebb). Mycket hög årsmedelhalt av fosfor noterades år 2021 i Lillån (Bankeryd) och Malmabäcken (figur 3). Även Lillån och Malmabäcken är relativt kraftigt påverkade av jordbruk (38 respektive 24% jordbruksmark). I flertalet övriga vattendrag uppmättes höga eller måttligt höga medelhalter av fosfor år 2021. I Forsviksån, Svedån (nationellt referensvattendrag) och Vätterns utlopp, Motala ström, klassades emellertid fosforhalterna som låga (figur 3). Detta förklaras av att i Forsviksån och Motala ström, har vattnet passerat stora sjöarealer, där lång uppehållstid ger goda möjligheter till "självrening" av fosfor genom utspädning, sedimentation och nedbrytning. Svedån har den lägsta andelen jordbruksmark i avrinningsområdet (5%) av de undersökta tillflödena. Svedån har dessutom ovanligt stor andel skogsmark (88%). I främst Mjölnaån var fosforhalten förvånansvärt låg (figur 3) mot bakgrund av den jämförelsevis stora andelen jordbruksmark i avrinningsområdet (46%).



Figur 3. Årsmedelhalter för fosfor samt andel jordbruksmark i respektive avrinningsområde vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2021 sorterade efter minskande fosforhalt. Orange, streckad linje anger gränsen mellan höga och mycket höga fosforhalter. Röd, streckad linje markerar övergången till extremt höga fosforhalter. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Asterisk (*) innebär att avrinningsområdet inte finns som egen vattenförekomst i SMHI:s Vattenwebb, varför uppgift om andel jordbruksmark avser ett något större område.

Tabell 1. Klassning av kvalitetsfaktorerna "Näringsämnen i vattendrag" och "Syrgas i sjöar och vattendrag" i enlighet med Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) för 17 stationer i tillflöden till Vättern samt en station i utloppet vid Motala ström (treårsmedelvärde 2019-2021, för syrgas medel av årslägsta halter). Koordinater är angivna i RT 90 2,5 gon V. Inom parentes står näringsstatus utan hänsyn till andelen jordbruksmark i de fall denna ändrats jämfört med statusen beräknad utan hänsyn till andelen jordbruksmark

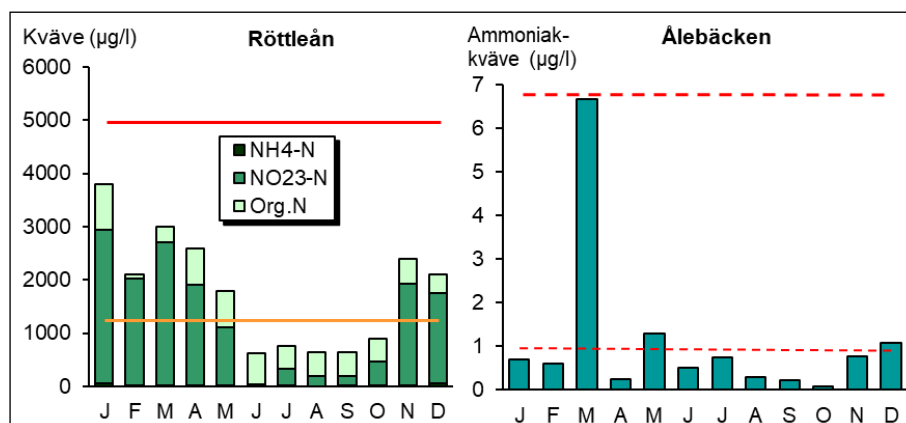
Provtagningsplats	X-koordinat	Y-koordinat	Näringsstatus	Syrgasstatus
Tillflöden				
20. Mjölnaån	6479170	1444800	God (otillfredsst.)	Hög
25. Ålebäcken	6463350	1431840	Otillfredsst. (dålig)	God
30. Orrnäsaån	6456250	1431050	Hög	God
40. Röttleån	6430920	1418750	Otillfredsställande	Hög
50. Huskvarnaån	6408810	1408420	Måttlig	God
60. Munksjöns utlopp	6407500	1402300	God	Hög
70. Lillån (Bankeryd)	6417320	1400960	Otillfredsställande	Måttlig
80. Domneån	6418270	1399900	God	God
90. Malmabäcken	6422600	1400400	Måttlig	God
100. Hökesån	6422600	1398760	God	Hög
110. Knipån	6425170	1398950	Hög (god)	Hög
120. Gagnån	6431670	1401190	Hög	Hög
130. Svedån	6434510	1401750	Hög	Hög
140. Hjoån	6465460	1411000	God (måttlig)	Hög
150. Forsviksån	6495900	1420250	Hög	Hög
1349. Alsens utlopp	6525900	1450050	Hög (måttlig)	Hög
1271. Kärrafjärdens utl.	6524700	1451700	Hög	Hög
Utlopp				
10. Motala ström	6490320	1455630	Hög	Hög

Statusklassning av kvalitetsfaktorn ”Näringsämnen i vattendrag” för treårsperioden 2019-2021 gav hög status för Orrnäsaån, Knipån, Gagnån, Svedån, Forsviksån och utloppen ur Alsen och Kärrafjärden samt Vätterns utlopp, Motala ström (tabell 1). God näringsstatus noterades för Mjölnaån, Munksjöns utlopp, Domneån, Hökesån och Hjoån. Huskvarnaån och Malmabäcken hade måttlig näringsstatus. De kraftigt jordbrukspåverkade vattendragen, Ålebäcken och Lillån, bedömdes ha otillfredsställande näringsstatus, vilket även gällde Röttleån (tabell 1). Jämfört med närmast föregående treårsperiod (2018-2020) var statusen en klass bättre för Hökesån (från måttlig till god) och Knipån (från god till hög).

Liksom flera tidigare år hade Ålebäcken extremt hög medelhalt av kväve år 2021. Även Lillån har ofta haft extremt höga kvävehalter, så även år 2021. Både Ålebäcken och Lillån är starkt påverkade av jordbruk och Lillån även av utsläpp från Bankeryds reningsverk. Ålebäcken hade även extremt hög medelhalt av fosfor, medan denna var mycket hög i Lillån (figur 3). Samtliga provplatser med mycket höga kvävehalter hade även mycket höga (Malmabäcken) eller höga fosforhalter. Till de mycket höga kvävehalterna i Munksjöns utlopp bidrar utsläpp från det kommunala reningsverket i centrala Jönköping (Simsholmen). Övriga vattendrag med mycket höga kvävehalter, Mjölnaån, Malmabäcken, Röttleån, Huskvarnaån, Hjoån och Orrnäsaån, påverkas förutom av jordbruk troligen av dagvatten i främst de nedre delarna, och Huskvarnaån även av utsläpp från Huskvarna reningsverk. Övriga stationer hade höga eller måttligt höga kvävehalter. I de mest jordbrukspåverkade vattendragen fanns en tydlig säsongsvariation med lägre halter av främst nitrat- och nitritkväve under sommarhalvåret på grund av större upptag i vegetation (se exemplet Röttleån i figur 4). Även gödselspridning kan bidra till förhöjda halter under vår och höst.

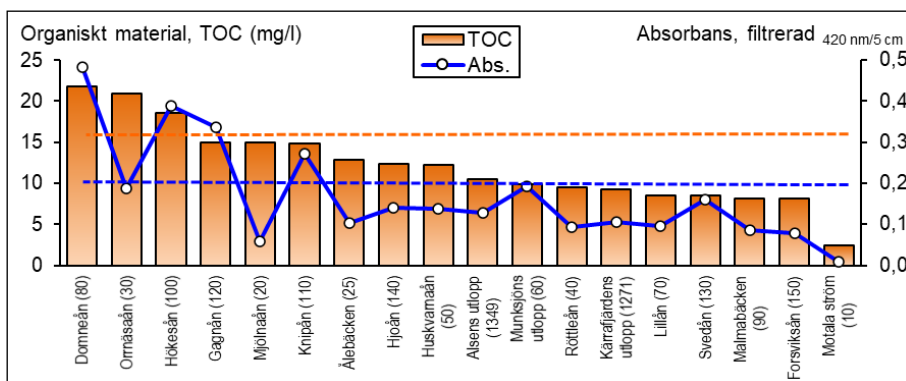
Avloppsvatten från reningsverk innehåller ofta höga halter av ammoniumkväve. Enligt ”Bedömningsgrunder för svenska ytvatten” (Statens Naturvårdsverk, Publikationer 1969:1) är gränsvärdet för känsliga fiskar, t.ex. öring, 200 µg/l och för fisk i allmänhet, t.ex. abborre och gädda, 1500 µg/l. År 2021 noterades halter över 1500 µg/l endast i Lillån, som påverkas av reningsverket i Bankeryd. Halter över 200 µg/l förekom år 2021 i Mjölnaån (januari och februari), Ålebäcken (mars), Orrnäsaån (februari), Huskvarnaån nedströms Huskvarna reningsverk (juni och juli), Munksjöns utlopp nedströms Simsholmens reningsverk (mars, april, maj, oktober och november) och Gagnån (februari, augusti och september). I jordbruksbygd kan även gödsling ge förhöjda halter av ammoniumkväve, vilket troligen Mjölnaån och Ålebäcken är exempel på. I Hjoån och Forsviksån, vilka är särskilt intressanta ur fiskesynpunkt, uppmättes inga halter över 200 µg/l. Ammonium kan under vissa betingelser omvandlas till ammoniak. Både ammonium och ammoniak är giftigt för fisk och dessutom syreförbrukande. Vid bedömning av ammoniakkväve i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) överskreds gränsen för god status både som årsmedelvärde (1 µg/l) och maximalt enskilt värde (6,8 µg/l) i Lillån vid Bankeryd (årsmedelvärde: 12 µg/l, maximalt

enskilt värde: 7,6-28 µg/l) och som årsmedelvärde i Mjölnaån (1,2 µg/l) och Ålebäcken (1,1 µg/l, figur 4).



Figur 4. Vänster diagram: halter av olika kvävefraktioner i Röttleån år 2021 (NH4-N = ammoniumkväve, NO23-N = nitrit-+nitratkväve, Org.N = organiskt bundet kväve). Orange linje anger gränsen mellan höga och mycket höga kvävehalter. Över röd linje är kvävehalterna extremt höga vid bedömning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Höger diagram: halter av ammoniakkväve i Ålebäcken år 2021. Tunn röd streckad linje utgör gränsen för god status som årsmedelvärde och tjock röd streckad linje är gränsen för god status som maximalt enskilt värde enligt Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25).

Halten av organiskt material analyseras här som TOC (totalt organiskt kol). I vattendrag utgörs det organiska materialet främst av humus som härrör från nedbrytningsprocesser i omgivande mark. Under år 2021 var TOC-halterna allra högsta i Domneån, Orrnäsaån och Hökesån, där medelhalterna bedömdes som mycket höga (figur 5). Domneån är det av vattendragen med den största andelen sankmark i avrinningsområdet (14% enligt SMHI:s Vattenwebb), vilket även förklarar det starkt färgade vattnet vid denna provplats (figur 5). Däremot har Orrnäsaån och Hökesån bara en till två procent sankmark i avrinningsområdet, varför förklaringen till de mycket höga halterna av organiskt material i dessa vattendrag till exempel kan vara liten andel sjöar. I Gagnån, Mjölnaån, Knipån, Ålebäcken, Hjoån och Huskvarnaån uppmättes höga medelhalter av TOC (figur 5). Med ett undantag noterades måttligt höga halter av organiskt material i samtliga övriga vattendrag. I Vätterns utlopp, Motala ström, var alla TOC-halter under året mycket låga beroende på "självrening" genom utspädning, sedimentation och nedbrytning i Vättern med dess cirka 60 år långa uppehållstid.



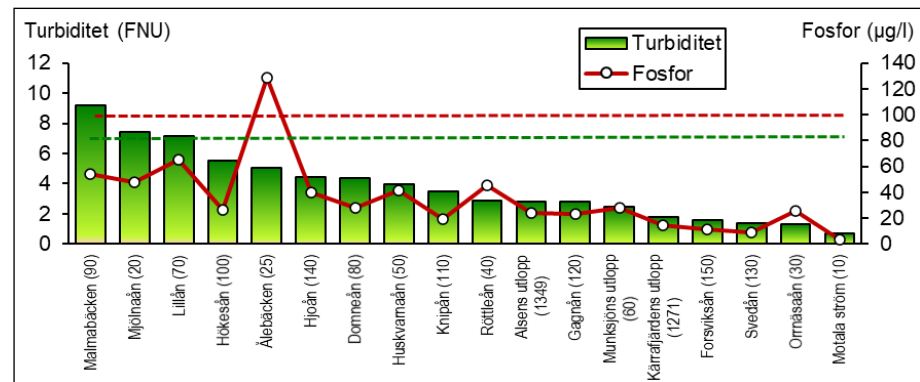
Figur 5. Årsmedelvärden för halter av organiskt material (analyserat som TOC) samt vattenfärg (mätt som absorbans) vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2021 sorterade efter minskande TOC-halt. Orange, streckad linje anger gränsen mellan höga och mycket höga halter av organiskt material. Blå, streckad linje markerar övergången mellan betydligt och starkt färgat vatten. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

Vid nedbrytning av organiskt material åtgår syre, men år 2021 påvisades ingen syrebrist. Som lägst noterades svagt syretillstånd i Malmabäcken (juni), Huskvarnaån (juli) och Lillån (juli). I Orrnäsaån, Domneån och Ålebäcken rådde måttligt syrerikt tillstånd, medan det var syrerikt i övrigt. Statusklassning av kvalitetsfaktorn ”Syrgas i sjöar och vattendrag” för treårsperioden 2019-2021 gav hög status för alla provplatser utom sex (tabell 1). Ålebäcken, Orrnäsaån, Huskvarnaån, Domneån och Malmabäcken fick god syrgasstatus, medan den bedömdes som måttlig för Lillån.

Som medianvärde för år 2021 hade alla stationer mycket god buffertkapacitet (motståndskraft mot försurning, analyserad som alkalinitet) och pH-värdena påvisade nära neutralt vatten. Som lägst noterades svag buffertkapacitet och måttligt surt vatten i Svedån (maj). Kalkning sker i de övre delarna av några avrinningsområden på främst Vätterns västra sida.

Ljusförhållanden påverkar livsbetingelserna direkt för många organismer. Förekomsten av löst och partikulärt material påverkar också den biologiska tillgängligheten av till exempel metaller. Ljusförhållanden kan mätas med flera olika metoder. Färgtal är främst ett mått på vattnets innehåll av humus och järn. Vattenfärg har historiskt oftast mätts visuellt i en så kallad färgkomparator, men mäts numera oftast som absorbans i en fotometer vid 420 nm våglängd i en 5 cm kyvett på filtrerat vatten, eftersom den metoden har större precision. Starkt färgat vatten förekom i Domneån (figur 5), vilket står i överensstämmelse med att andelen sankmark i Domneåns avrinningsområde är jämförelsevis hög (14% enligt SMHI:s Vattenwebb). Även i Hökesån, Gagnån och Knipån klassades emellertid vattnet som starkt färgat (figur 5), trots att andelarna sankmark i dessa avrinningsområden bara är 2-3%. Gemensamt för dessa avrinningsområden är stor andel skogsmark (70-90%) och liten andel sjöar (1-2%), vilket ger stor tillförsel av humusämnen och dåliga förutsättningar för ”självrening” genom sedimentation och nedbrytning. Med ett undantag hade alla övriga provplatser betydligt eller måttligt färgat vatten. I Vätterns utlopp, Motala ström, bedömdes vattnet som ej eller obetydligt färgat (figur 5).

Turbiditeten, eller grumligheten, är ett mått på vattnets innehåll av partiklar. I rinnande naturvatten orsakas grumlingen främst av oorganiska partiklar, till exempel lera, där den största källan är erosion. I sjöar är det oftast organiska partiklar, till exempel alger, som bidrar till grumligheten. Turbiditeten mäts som ljusspridning i en turbidimeter. Starkt grumligt vatten noterades i Malmabäcken, Mjölnaån och Lillån (figur 6). Det syns ett visst samband såtillvida att stationer med mindre grumligt vatten har lägre fosforhalter (figur 6), vilket påvisar att grumlingen till stor del orsakas av erosion från jordbruksmark (figur 3). Några provplatser, främst Malmabäcken och Mjölnaån, var dock grumligare än förväntat i relation till fosforhalten (figur 6). Tvärtom var vattnet i Ålebäcken endast betydligt grumligt trots extremt hög fosforhalt (figur 6). Med ett undantag hade samtliga övriga stationer betydligt eller måttligt grumligt vatten. I Vätterns utlopp, Motala ström, klassades vattnet som svagt grumligt främst på grund av ”självrening” genom utspädning och sedimentation i Vättern.

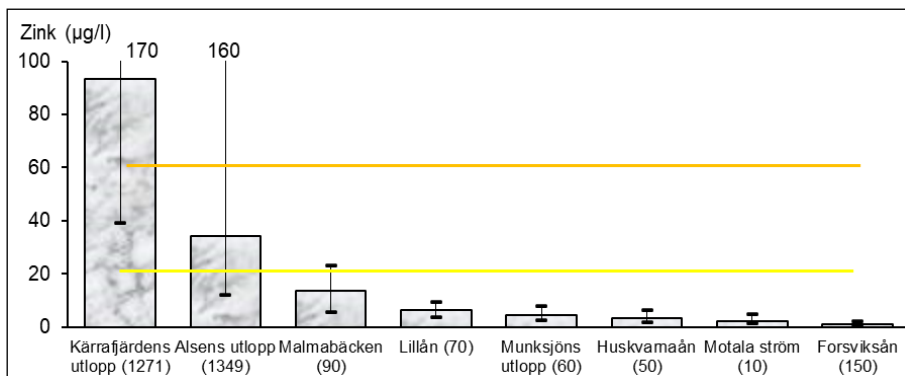


Figur 6. Årsmedelvärden för turbiditet samt fosforhalter vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2021 sorterade efter minskande turbiditet. Grön streckad linje anger gränsen mellan betydligt och starkt grumligt vatten. Brun streckad linje markerar övergången mellan mycket höga och extremt höga fosforhalter. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

Metaller undersöks vid knappt hälften av stationerna. År 2021 var medelhalterna av arsenik, kadmium, krom och nickel mycket låga eller låga vid samtliga stationer vid bedömning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). I Kärrafjärdens utlopp uppmättes emellertid höga medelhalter av bly och zink (figur 7), vilket torde bero på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan Mining AB i Askersunds kommun. I gruvan, som öppnades 1857, bryts zink, bly, koppar och silver. Även i Alsens utlopp förekom strax över gränsen till måttligt höga medelhalter av bly och zink (figur 7), vilket också gällde koppar i Malmabäcken.

Vid bedömning av metaller i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) överskred årsmedelvärdena för zink i utloppen av Kärrafjärden och Alsen (19 respektive 6,5 µg/l, biotillgänglig halt) gränsen för god status (5,5 µg/l, biotillgänglig halt). Medelhalterna av arsenik, kadmium, krom och kvicksilver överskred inte gränsen för god status vid någon station. Medelhalterna av bly, koppar och nickel

överskred inte heller gränsen för god status (biotillgängliga halter) vid någon station. Det ska dock beaktas att bedömning enligt HVMFS 2019:25 avser löst metallfraktion, det vill säga halt efter filtrering genom ett 0,45 µm filter. Aktuella prov är ofiltrerade, och avser totalhalter, varför metallhalterna kan ha överskattats.



Figur 7. Årsmedelvärden för zink vid sju stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2021 sorterade efter minskande zinkhalt. Gul linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga halter. Över orange linje är halterna höga. Gränsen för mycket höga halter är 300 µg/l. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

TIDSSERIER OCH TRENDER

Tidsserierna för organiskt material (TOC), totalfosfor, totalkväve, ammoniumkväve och metaller (årsmedelhalter) utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test, varvid statistiskt signifikanta trender på en- ($p < 0,05$), två- ($p < 0,01$) och trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under 2000-talet erhöles.

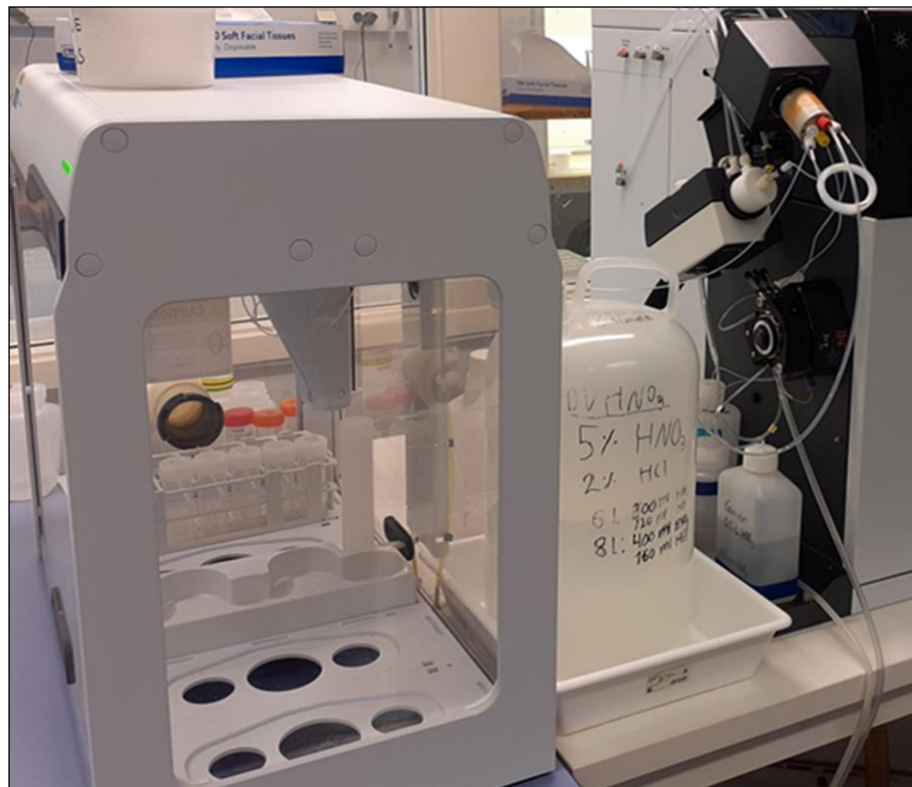
För organiskt material fanns signifikant minskande trender för sex provplatser. Tydligast var detta i Hjoån, där minskningen var på två- eller enstjärnig nivå under hela perioden 2001-2021 till och med 2008-2021, då medelhalterna av TOC minskade från höga till måttligt höga halter, som dock åter klassades som hög år 2021. Också i Vätterns utlopp, Motala ström, minskade TOC-halterna på oftast tvåstjärnig nivå åren 2000-2021 till och med 2005-2021 inom klassen mycket låga halter. Statistiskt säkra trender mot minskande TOC-halter på tvåstjärnig nivå för mer än enstaka år fanns även för Malmabäcken (från måttligt höga till låga halter, som dock åter var måttligt hög år 2021, figur 8). I Huskvarnaån och Forsviksån samt Kärrefjärdens utlopp minskade TOC-halterna på oftast enstjärnig nivå ett eller flera år under 2000-talet.

Statistiskt säkerställda trender mot ökande TOC-halter förekom främst i Mjölnaån åren 2009-2021 till och med 2014-2021, då medelhalterna ökade från oftast höga till mycket hög (2020) på varierande två- och enstjärnig nivå. Även i Orrnäsaån, Röttleån, Huskvarnaån, Domneån (figur 8), Svedån, Hjoån och Forsviksån syntes ökande trender på enstjärnig signifikansnivå för ett eller flera år under 2000-talet.

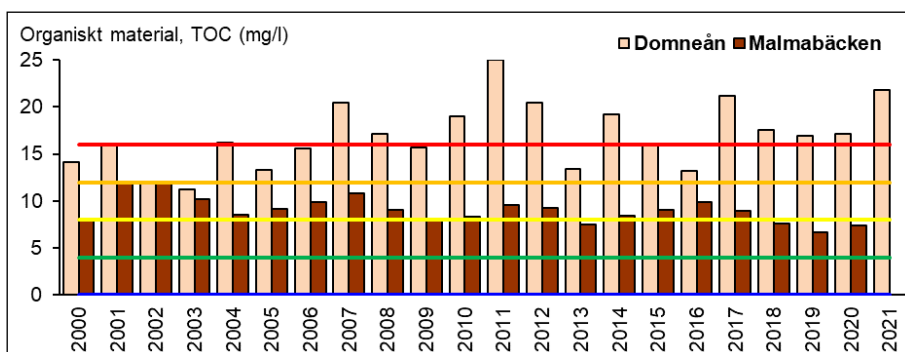
Tema analysinstrument



Turbiditet (eller grumlighet) är ett mått på vattnets innehåll av suspenderade partiklar. Dessa kan vara av organiskt (t.ex. alger) eller oorganiskt (t.ex. lera) ursprung. På laboratoriet mäts turbiditeten i en turbidimeter med tillhörande programvara. Provet bestrålas och när ljuset träffar partiklarna sprids det olika beroende på deras storlek, form och antal. Det spridda ljuset detekteras (nephelometri). Foto: Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SGS.

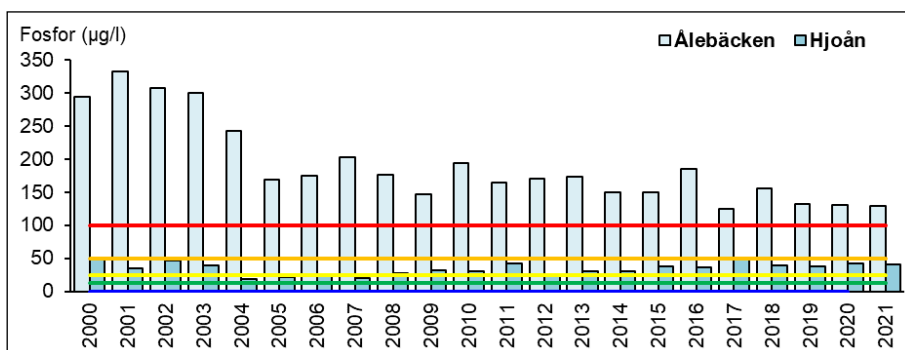


På SGS' laboratorium i Linköping analyseras bland annat metallerna arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, nickel och zink med instrumentet Agilent 7900 ICP-MS och provväxlaren Agilent SPS 4 Autosampler. Foto: Elisabet Hilding, SGS.



Figur 8. Årsmedelhalter av organiskt material (analyserat som TOC) i Domneån (station 80) och Malmabäcken (station 90) under 2000-talet. Över blå linje är halten mycket låg, över grön linje låg, över gul linje måttligt hög, över orange linje hög och över röd linje mycket hög. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

I främst Ålebäcken (figur 9) och Malmabäcken, som är några av de mest jordbrukspåverkade av tillflödena, var fosformedelhalterna signifikant minskande under 2000-talet. I dessa två vattendrag var fosforhalterna minskande på både en-, två- och trestjärnig nivå. Även för Röttleån, Forsviksån och Vätterns utlopp, Motala ström, fanns fosforhalter med enstjärnigt (för Röttleån även tvåstjärnigt) minskande signifikans för vissa år. I Ålebäcken minskade fosforhalterna inom klassen extremt höga halter (figur 9), i Malmabäcken från extremt höga till höga och i Röttleån från mycket höga till höga. I Forsviksån och Vätterns utlopp, Motala ström, klassades fosforhalterna som fortsatt låga.

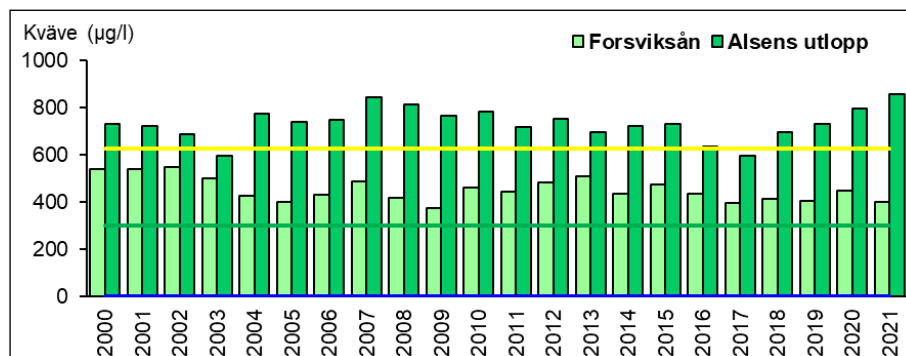


Figur 9. Årsmedelhalter av totalfosfor i Ålebäcken (station 25) och Hjoån (station 140) under 2000-talet. Över blå linje är halterna låga, över grön linje måttligt höga, över gul linje höga, över orange linje mycket höga och över röd linje extremt höga. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

För sex provplatser, Orrnäsaån, Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Hökesån, Gagnån och Hjoån (figur 9), fanns statistiskt signifikant ökande trender för fosformedelhalter under 2000-talet på varierande tre-, två- och enstjärnig nivå. Ökning med tvåstjärnig signifikans förekom bara i Munksjöns utlopp och Hjoån, medan ökning med trestjärnig signifikans endast förekom i Munksjöns utlopp. I Munksjöns utlopp och Hjoån (figur 9) ökade fosforhalterna från måttligt höga till höga respektive inom klassen höga halter. I Huskvarnaån klassades fosforhalterna oftast som höga, i

Orrnäsån och Hökesån som höga eller måttligt höga och i Gagnån som måttligt höga under 2000-talet.

För totalkväve fanns statistiskt signifikant minskande trender under 2000-talet på oftast enstjärnig nivå för fyra stationer. Minskande medelhalter av kväve på tvåstjärnig nivå förekom i Malmabäcken, där halterna främst minskade inom klassen mycket höga halter. Övriga tre platser med minskande trender på enstjärnig nivå var Munksjöns utlopp, Forsviksån (figur 10) och Vätterns utlopp, Motala ström.



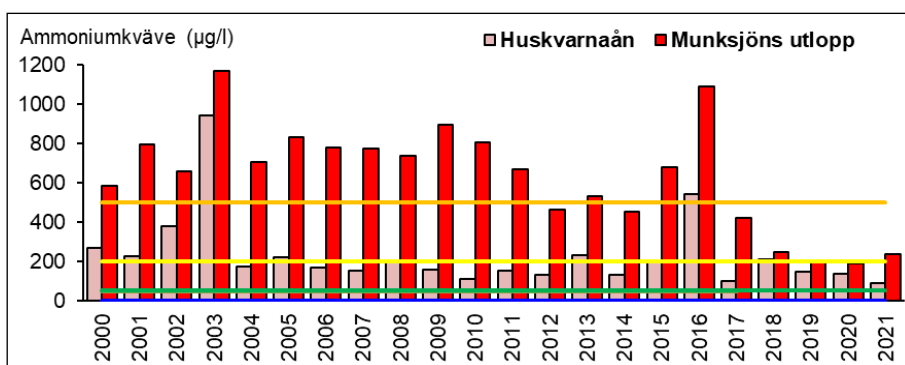
Figur 10. Årsmedelhalter av kväve i Forsviksån (station 150) och Alsens utlopp (station 1349) under 2000-talet. Över blå linje är halten låg, över grön linje måttligt hög och över gul linje hög. Gränsen för mycket höga halter är 1250 µg/l och för extremt höga halter 5000 µg/l. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

I Hökesån halverades kvävedelhalterna mellan åren 2003 och 2004 beroende på att utsläppspunkten för det kommunala reningsverket i Habo flyttades till en våtmark med avrinning direkt till Vättern. Emellertid ökar kvävehalterna i Hökesån åter svagt och var år 2021 strax under gränsen till mycket hög. Statistiskt säkra ökande kvävehalter noterades för ytterligare elva stationer, men tydligast i Hjoån, där ökningen var trestjärnigt signifikant för sex år under 2000-talet. Ökning av kvävehalterna på trestjärnig nivå förekom även i Knipån vid mitten av 2000-talet. I Orrnäsån, Huskvarnaån och Hjoån var kvävehalterna mycket höga vid tidsseriens början och slut, men höga däremellan, vilket i Hjoån följde mönstret för fosfor. Även i Lillån (Bankeryd) syntes ett liknande mönster, men där minskade kvävehalterna från extremt höga till mycket höga och ökade åter till extremt höga. Övriga sex stationer med ökande trender på två- eller oftast enstjärnig nivå var: Ålebäcken, Röttleån, Domneån, och Gagnån samt utloppen ur Kärrafjärden och Alsen. I utloppen av Kärrafjärden och Alsen (figur 10) var 2021 års kvävedelhalter de högsta under 2000-talet.

För 12 av de 16 stationer där det finns tidsserier för ammoniumkväve fanns statistiskt signifikant minskande trender under 2000-talet på en-, två- eller trestjärnig nivå. De enda stationerna med minskande halter av ammoniumkväve på trestjärnig nivå var utloppen ur Munksjön (2001-2021 t.o.m. 2005-2021, figur 11) och Alsen (2013-2021, figur 11).

I Hökesån klassades medelhalterna av ammoniumkväve som höga åren 2000-2003, men minskade därefter drastiskt till låga eller mycket låga halter på grund av att utsläppspunkten för Habo reningsverk flyttades till en våtmark med avrinning direkt till Vättern. I Munksjöns utlopp klassades medelhalterna av ammoniumkväve oftast som höga, men har sedan år 2017 bedömts som måttligt höga eller låga (figur 11). I Huskvarnaån (figur 11), Ålebäcken och Domneån minskade medelhalterna av ammoniumkväve från måttligt höga till låga under 2000-talet. Vid övriga provplatser var medelhalterna av ammoniumkväve mycket låga eller låga under hela 2000-talet. I Munksjöns utlopp och Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk till förhöjda ammoniumkvävehalter, medan det i Ålebäcken troligen främst handlar om tillskott från gödsel.

De enda stationerna med statistiskt säkra ökande halter av ammoniumkväve var Mjölneån (2016-2021 t.o.m. 2017-2021) Orrnäsaån (2010-2021 t.o.m. 2014-2021), Knipån (2014-2021 och 2016-2021) och Vätterns utlopp, Motala ström (2010-2021 t.o.m. 2013-2021), men bara på en- eller tvåstjärnig nivå, och alla halter var mycket låga eller låga.

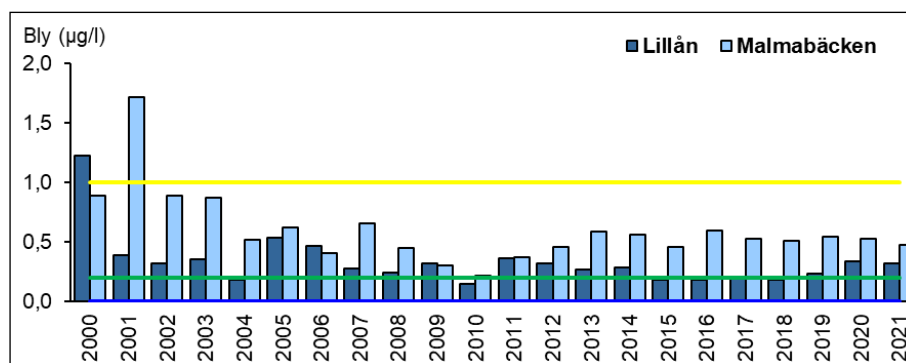


Figur 11. Årsmedelhalter av ammoniumkväve i Huskvarnaån (station 50) och Munksjöns utlopp (station 60) under 2000-talet. Över blå linje är halten mycket låg, över grön linje låg, över gul linje måttligt hög och över orange linje hög. Gränsen för mycket hög halt är 1500 µg/l. Bedömningar enligt SGS' egen skala.

För tungmetaller, som analyseras i sju av tillflödena samt Vätterns utlopp, Motala ström, fanns många signifikant minskande trender för årsmedelhalter av metaller under 2000-talet på en-, två- eller trestjärnig nivå. På trestjärnig nivå gällde det emellertid bara arsenik i Huskvarnaån, kadmium, koppar, krom och nickel i Malmabäcken, krom i Forsviksån, krom i Alsens utlopp, koppar och krom i Kärrafjärdens utlopp, arsenik och zink i Vätterns utlopp, Motala ström, samt koppar i Lillån. Vid samtliga åtta provplatser var det även flera metaller som minskade på två- och enstjärnig nivå. I Huskvarnaån gällde detta arsenik och krom, i Munksjöns utlopp arsenik, krom, nickel och zink, i Lillån arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, nickel och zink, i Malmabäcken arsenik, kadmium, koppar, krom, nickel och zink samt i Forsviksån arsenik, bly, kadmium, krom och nickel. Minskande halter på två- och enstjärnig nivå förekom även i utloppen av Alsen (krom och zink) och Kärrafjärden (arsenik, kadmium, koppar, krom och zink) samt Vättern vid Motala ström (arsenik, kadmium, koppar, krom och zink).

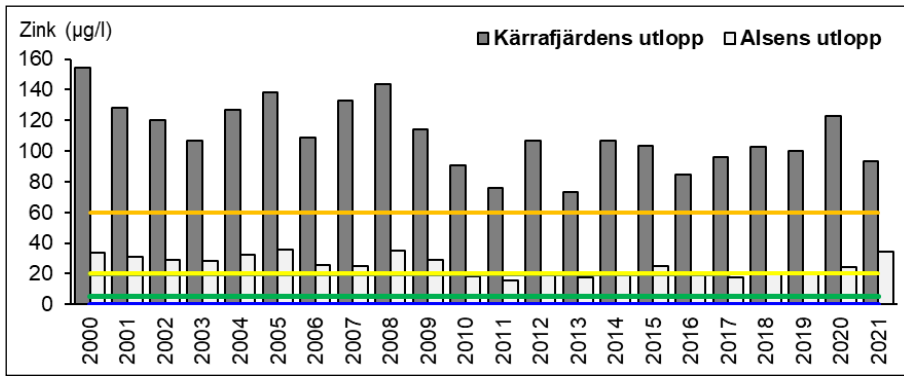
Ökande metallhalter på trestjärnig signifikansnivå förekom endast för nickel i Huskvarnaån. Ökande halter med tvåstjärnig signifikans fanns för nickel i Vätterns utlopp vid Motala ström samt för nickel i Huskvarnaån och Kärrafjärdens utlopp. Ökande halter på enstjärnig nivå noterades för arsenik i Lillån och Alsens utlopp, för kadmium i Munksjöns utlopp, för kadmium och nickel i Huskvarnaån, för kadmium i Lillån samt utloppen ur Alsen och Kärrafjärden, för koppar i Lillån, för nickel i Kärrafjärdens utlopp, för zink i Alsens utlopp samt för bly, kvicksilver och nickel i Vätterns utlopp, Motala ström.

Vid flertalet stationer var årsmedelhalterna av metaller mycket låga eller låga under hela 2000-talet. I Malmabäcken minskade medelhalterna av koppar från höga till huvudsakligen måttligt höga. I Malmabäcken minskade även medelhalterna av bly (figur 12) och zink från måttligt höga till låga. I Lillån minskade medelhalterna av koppar och bly (figur 12) från måttligt höga till låga. Orsaker till minskande metallhalter i Malmabäcken och Lillån kan till exempel vara minskad tillförsel från ytbehandlingsindustri och dagvatten.



Figur 12. Årsmedelhalter av bly i Lillån vid Bankeryd (station 70) och Malmabäcken (station 90) under 2000-talet. Över blå linje är halterna mycket låga, över grön linje låga och över gul linje måttligt höga. Gränsen för höga halter är 3 µg/l och gränsen för mycket höga halter är 15 µg/l. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

I Kärrafjärdens utlopp var årsmedelhalterna av zink minskande, dock höga, under hela 2000-talet (figur 13). Vid samma provplats var blyhalterna oftast höga. Förhöjda halter av zink och bly i Kärrafjärdens utlopp beror på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan Mining AB i Askersunds kommun. I Alsens utlopp var blyhalterna under hela 2000-talet på gränsen mellan låga och måttligt höga, medan zinkhalterna minskade från måttligt höga till på gränsen mellan måttligt höga och låga, men 2021 års medelhalt av zink var den tredje högsta under 2000-talet (figur 13). I Alsens utlopp kan minskande metallhalter eventuellt bero på minskat tillskott från reningsverk och dagvatten.



Figur 13. Årsmedelhalter av zink i utloppen ur Kärrafjärden (station 1271) och Alsens (station 1349) under 2000-talet. Över blå linje är halterna mycket låga, över grön linje låga, över gul linje måttligt höga och över orange linje höga. Gränsen för mycket höga halter är 15 µg/l. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

Ämnestransporter och arealspecifika förluster

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SGS Analytics Sweden AB

Sammanfattning

År 2021 stod Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Mjölnaån och Forsviksån samt utloppen ur Alsen och Kärrafjärden för tillsammans 81% av den beräknade fosfortransporten till Vättern. Samma sex vattendrag bidrog med 80% av kvävetransporten och 76% av transporten av organiskt material (TOC) till Vättern. Svedån, Gagnån, Orrnäsaån och Knipån var de tillflöden som bidrog med de minsta näringsämnestransporterna (för kväve även Hjoån), medan Lillån, Röttleån, Svedån, Hjoån och Gagnån stod för de minsta transporterna av organiskt material (<2 % vardera). Transporterna följer ofta vattenföringen väl med större mängder under år med högt flöde beroende på större markläckage vid ökad nederbörd och avrinning. För flera tillflöden och utflödet noterades således de största transporterna höglödesåren 1995, 1998 och 2007. Vid utloppen ur Alsen och Kärrafjärden förekom dock de största transporterna år 2000 samt i Hökesån, Knipån och Lillån oftast år 2011.



Figur 1. Vattenprovtagning med teleskophämtare (foto: SGS).

Jämfört med långtidsmedelvärden var 2021 års transporter av fosfor, kväve och organiskt material (TOC), liksom åren 2016 till och med 2020, oftast avsevärt mindre än normalt beroende på relativt låg vattenföring. Skillnaderna var störst för Huskvarnaån, Svedån och Forsviksån, och för kväve även Mjölnaån och Munksjöns utlopp, där transportererna var 20-50% mindre än vanligt. Däremot var 2021 års transporter av kväve och TOC i Hökesån och Knipån 30-40% större jämfört med långtidsmedelvärden och de näst största respektive tredje största i tidsserierna med startår 2003. I Huskvarnaån var 2021 års kvävetransport den allra minsta, medan transportererna av fosfor och TOC var de tredje minsta i tidsserien med startår 1992. I Vätterns utlopp, Motala ström, var 2021 års transporter av både fosfor, kväve och TOC 40-60% mindre än vanligt och en av de fem minsta sedan 1990. I främst Lillån, Svedån, Forsviksån och Motala ström minskade fosfortransportererna under 1990- och 2000-talen, medan vattenföringen var oförändrad eller ökade svagt, vilket kan tolkas som minskad belastning från punktkällor. I Svedån, Forsviksån och Motala ström minskade även kvävetransportererna svagt. I Knipån ökade däremot kvävetransporten tydligt under 2000-talet, medan vattenföringen var relativt oförändrad, vilket antyder ökad påverkan från punktkälla.

För Lillån (Bankeryd) och Munksjöns utlopp bedömdes 2021 års arealspecifika förluster (ämnestransporter per avrinningsområdesyta) som höga för kväve och måttligt höga för fosfor. Även Hökesån hade strax över gränsen till måttligt höga fosforförluster. För Hökesån, liksom flertalet övriga tillflöden, klassades även kväveförlusten som måttlig. Både Lillån och Munksjön är kraftigt belastade av främst kväve från reningsverk. Lillåns avrinningsområde omfattar dessutom en stor andel jordbruksmark (37%) och saknar sjöar som kan fungera som ”klarningsbassänger”. Mycket låga förluster av både fosfor och kväve förekom i Forsviksån och Vätterns utlopp, Motala ström, och detsamma gällde fosfor i Svedån. Förklaringen till de mycket låga förlusterna i Svedån och Forsviksån är stora andelar skogsmark och vattenyta i avrinningsområdet. I Vätterns utlopp, Motala ström, är andelen sjöyta mycket stor (35%) och vattnets uppehållstid i Vättern är cirka 60 år, vilket ger mycket goda förutsättningar för självrening genom utspädning, sedimentation och nedbrytning.

Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SGS Analytics Sweden AB 2021 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt vid en station i utloppet vid Motala ström (se figur och text i kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”). Utifrån uppgifter om vattenföring och halter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) samt arealuppgifter beräknades ämnestransporter och arealspecifika förluster.

Metodik

Uppgifter om markanvändning inhämtades via SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>, SVAR-version 2016_3) för de vattenförekomster som bäst motsvarar respektive station. Ålebäcken och Malmabäcken finns inte som egna områden, varför inga uppgifter erhöles.

För flertalet tillflöden till Vättern hämtades uppgifter om vattenföring för perioden 2004-2021 som modellberäknade data från SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>, HYPE-version 5_15_0). I tidigare versioner fanns värden från och med år 1999 respektive 1990 och för åren 1990-2003 användes dessa. För tillflödena användes årsmedelvärden (total stationskorrigerad vattenföring). För Ålebäcken och Malmabäcken saknas uppgifter. I utloppet, Motala ström, finns en vattenföringsstation (nr 1950) med ännu äldre data, varför uppgifter sammanställdes för åren 1960-2021. För denna station användes även månadsmedelvärden. Även i Svedån vid Sved finns en vattenföringsstation (nr 2359), varför dessa data användes. För vissa tillflöden finns även flöden framtagna inom den samordnade recipientkontrollen i "Norra Vättern" (Alsen och Kärrafjärden) och "Södra Vättern" (Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Lillån, Hökesån och Knipån). Dessa flöden skiljer sig ibland från SMHI:s data, bland annat därför att kända uppgifter om flödestillskott från till exempel reningsverk lagts till. Dessa tidsserier sträcker sig inte så långt tillbaka som 1990, men fick ändå företräde framför HYPE-data, eftersom de är mer sanna och har använts vid publicerade transportberäkningar i recipientkontrollen.

Utifrån dygnsmedelvattenföring för respektive tillflöde (oftast vid mynningen i Vättern) samt för utloppet, Motala ström, vilka hämtades från SMHI:s Vattenwebb (adress, se ovan), och halter vid respektive provpunkt, beräknades transporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC). Vid beräkningen multiplicerades interpolerade halter med aktuell dygnsmedelvattenföring och summerades till en årstransport. På detta sätt erhöles värden för Alsens utlopp, Domneån, Forsviksån, Gagnån, Hjoån, Kärrafjärdens utlopp, Mjölnaån, Motala ström, Orrnäsaån, Röttleån och Svedån. För Huskvarnaån, Hökesån, Knipån, Lillån (Bankeryd) och Munksjöns utlopp användes samma transportvärden som framkommit inom den samordnade recipientkontrollen för "Södra Vättern". I Svedån och Forsviksån ligger provpunkterna ett stycke uppströms mynningen i Vättern. Transporterna vid dessa provpunkter räknades därför upp med arealkorrigeringsfaktorerna 1,114 respektive 1,080 för att representera mynningen i Vättern.

För ovan nämnda vattendrag med tidsserier för transporter, beräknades den arealspecifika förlusten av fosfor respektive kväve som årstransporten dividerad med avrinningsområdets yta (kg/ha, år), både som ett medelvärde för treårsperioden 2019-2021 och för varje enskilt år i tidsserierna. Arealförlusterna bedömdes i enlighet med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Tidsserierna utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test.

Resultat och diskussion

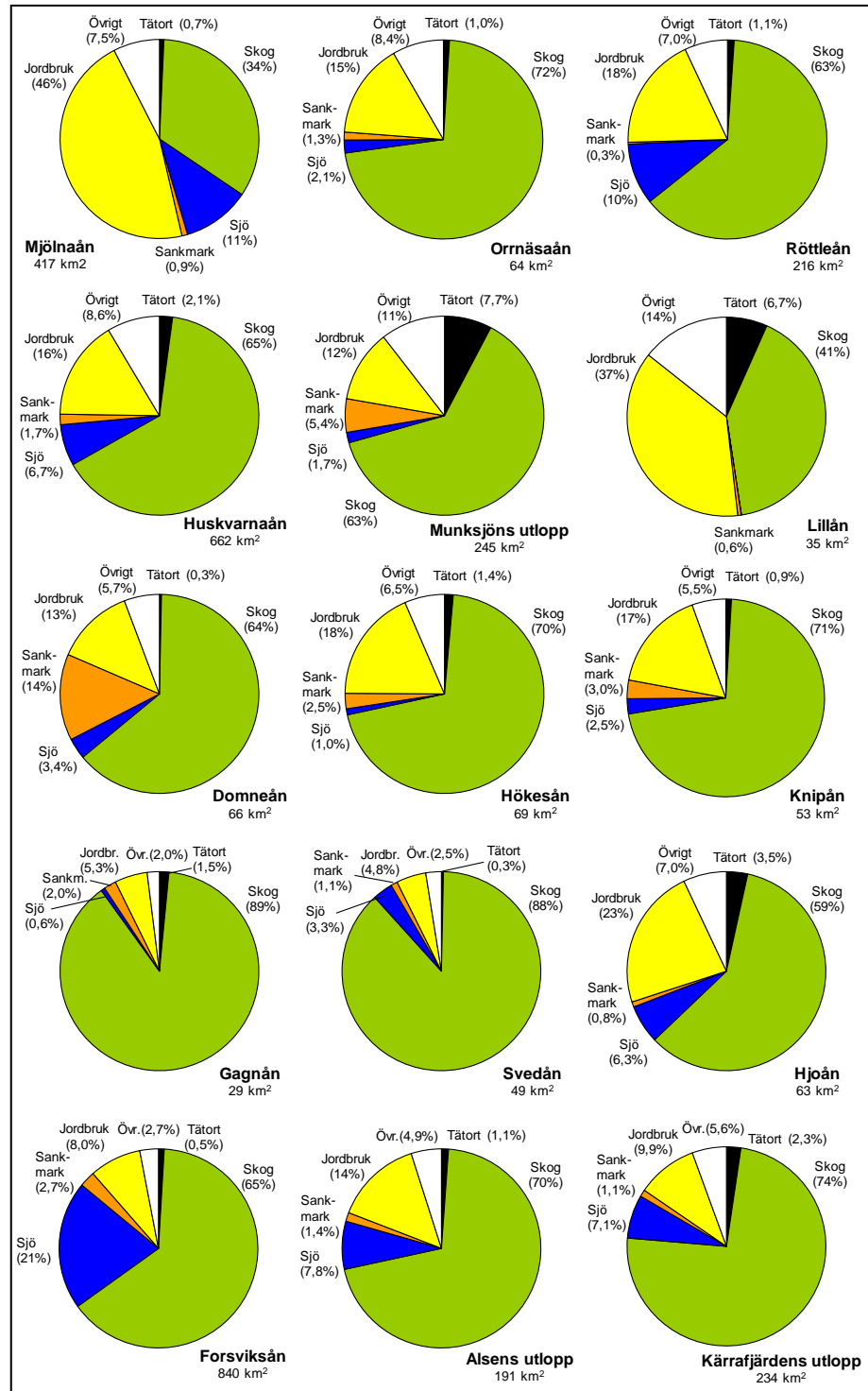
MARKANVÄNDNING

Markanvändningen i avrinningsområdena för 15 av de 17 undersökta tillflödena till Vättern framgår av figur 2. I 14 områden är dominerande markslag skog, som varierar mellan 41% i Lillån (Bankeryd) och knappt 90% i Gagnån och Svedån. I Mjölnaån dominerar jordbruksmarken (46%). Jordbruksmark utgör en stor andel även i flertalet övriga avrinningsområden. Avrinningsområden med mindre än 10% jordbruksmark är Gagnån och Svedån (5%) samt Forsviksån (8%) och Kärrafjärdens utlopp (10%). Beroende på påverkan av erosion och gödsling är markläckaget av näringsämnen större från jordbruksmark än från skogsmark, varför halterna av fosfor och kväve i intilliggande vattendrag oftast är förhållandevis högre. Även värdena för turbiditet (grumlighet) och alkalinitet (motståndskraft mot försurning) är oftast högre i vattenområden i jordbruksbygd. Ytterligare en faktor av stor betydelse för vattenkvaliteten är andelen sjöar i avrinningsområdet. Detta eftersom sjöar fungerar som naturliga ”klarningsbassänger” där partiklar av organiskt (humus, alger) eller oorganiskt (lera) material kan sedimentera och/eller nedbrytning ske. Sjöprocenten är klart störst i Forsviksåns avrinningsområde (21%, figur 2), där sjöarna Unden och Viken utgör en stor del av området. Därefter följer Mjölnaån och Röttleån med 11 respektive 10% sjö. I Mjölnaåns avrinningsområde ligger sjön Tåkern och i Röttleåns avrinningsområde finns sjöarna Ören och Bunn. Följande åtta avrinningsområden har en sjöprocent mindre än fyra procent: Orrnäsaån, Munksjöns utlopp, Lillån, Domneån, Hökesån, Knipån, Gagnån och Svedån.

Sämst vattenkvalitet kan följaktligen förväntas i tillflöden med stor andel jordbruksmark och liten andel sjöar, vilket stämmer bäst in på Lillån. Tvärtom kan bäst vattenkvalitet förväntas i tillflöden med liten andel jordbruksmark och stor andel sjöar, vilket stämmer bäst in på Forsviksån. (Se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

Vatten som avrinner från sankmark är mycket humöst. Andelen sankmark är störst i Domneåns avrinningsområde (14%, figur 2). Domneån hade också 2021 års högsta maximala värden för både färgtal (mätt som absorbans) och organiskt material (analyserat som TOC) och även de högsta medelvärdena. (Se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

Andelen tätort är störst i Munksjöns utlopp och Lillån (8 respektive 7%, figur 2). Tätorter kan påverka vattenkvaliteten negativt genom tillförsel av främst näringsämnen och syreförbrukande organiskt material, men även till exempel metaller och olja från industrier och reningsverk samt dagvatten. I främst Lillån syntes påverkan från det kommunala reningsverket i Bankeryd som mycket höga medelhalter av ammoniumkväve (se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

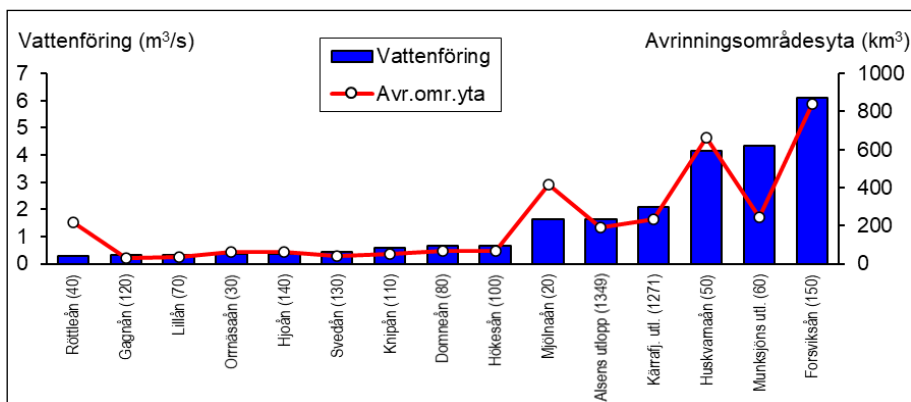


Figur 2. Procentuell fördelning av markslag för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern. För Ålebäcken och Malmabäcken fanns inga uppgifter att tillgå på SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>).

VATTENFÖRING

Vattenföringen har stor betydelse för vattenorganismernas livsmiljö. Vid litet vattenflöde ökar konkurrensen om utrymmet eftersom arealen vattenyta minskar. Vidare ökar risken för syrgasbrist. Litet vattenflöde ger dessutom ökad påverkan från eventuella punktkällor som en koncentrationseffekt. Vid större vattenflöden ökar risken för bortspolning av organismer, medan vattenkvaliteten kan vara bättre. Vattenföringen påverkar transporter av till exempel näringsämnen fosfor och kväve samt syreförbrukande organiskt material, eftersom vattenföring multiplicerad med halter ger transporterad mängd av olika ämnen till Vättern.

Vattenföringen i 15 av de undersökta tillflödenas mynning i Vättern varierade mellan 0,28 m³/s (Röttleån) och 6,1 m³/s (Forsviksån) som årsmedelvärde 2021 (figur 3). Medelavrinningen ut ur Vättern vid Motala ström var 28 m³/s. I flertalet vattendrag var vattenföringen allra högst i början (januari, februari och maj) och i viss mån i slutet (oktober och november) av året och lägst under sommaren (juni, juli och augusti). Inte så förvånande fanns ett tydligt samband mellan årsmedelvattenföring och respektive tillflödes avrinningsområdesyta (figur 3). I Röttleån och Mjölnaån var flödet anmärkningsvärt litet i förhållande till respektive avrinningsområdes storlek, troligen beroende på reglering för produktion av elkraft (figur 3). I Munksjöns utlopp var flödet tvärtom större än förväntat relaterat till avrinningsområdets storlek beroende på pumpning av vatten till Munksjön från Vättern (figur 3).



Figur 3. Medelvattenföring år 2021 samt avrinningsområdets yta för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern. För Ålebäckens och Malmabäckens fanns inga uppgifter att tillgå på SMHI:s VattenWeb.

År 2021 var medelvattenföringen i flertalet tillflöden lägre (1-33%) än medelvärden för perioden 1990-2020. Vattenföringen var särskilt mycket lägre i Huskvarnaån (33%), där den bara varit lägre två år tidigare. Som medelvärde var vattenföringen 7% lägre än normalt. Orsaken till de jämförelsevis låga flödena kan åtminstone delvis vara relativt lite nederbörd i främst februari, juni och december (se kapitlet "Klimat och vattenstånd"). I Lillån (Bankeryd), Hökesån och Knipån var medelvattenföringen däremot 5-18% högre jämfört med medelvärdet för en längre tidsperiod.

I flertalet tillflöden förekom den högsta vattenföringen åren 1995, 1998, 2007 och 2012. I de nordligaste tillflödena, utloppen ur Alsen och Kärrafjärden, noterades dock den allra högsta vattenföringen år 2000. År med särskilt låg medelvattenföring var 1996, 2003, 2005, 2009 och 2013 samt 2016-2019. I flera tillflöden (Mjölnaån, Orrnäsaån, Gagnån, Svedån, Hjoån och Forsviksån samt utloppen ur Alsen och Kärrafjärden) förekom ovanligt låg vattenföring även under perioden 1990-1993.

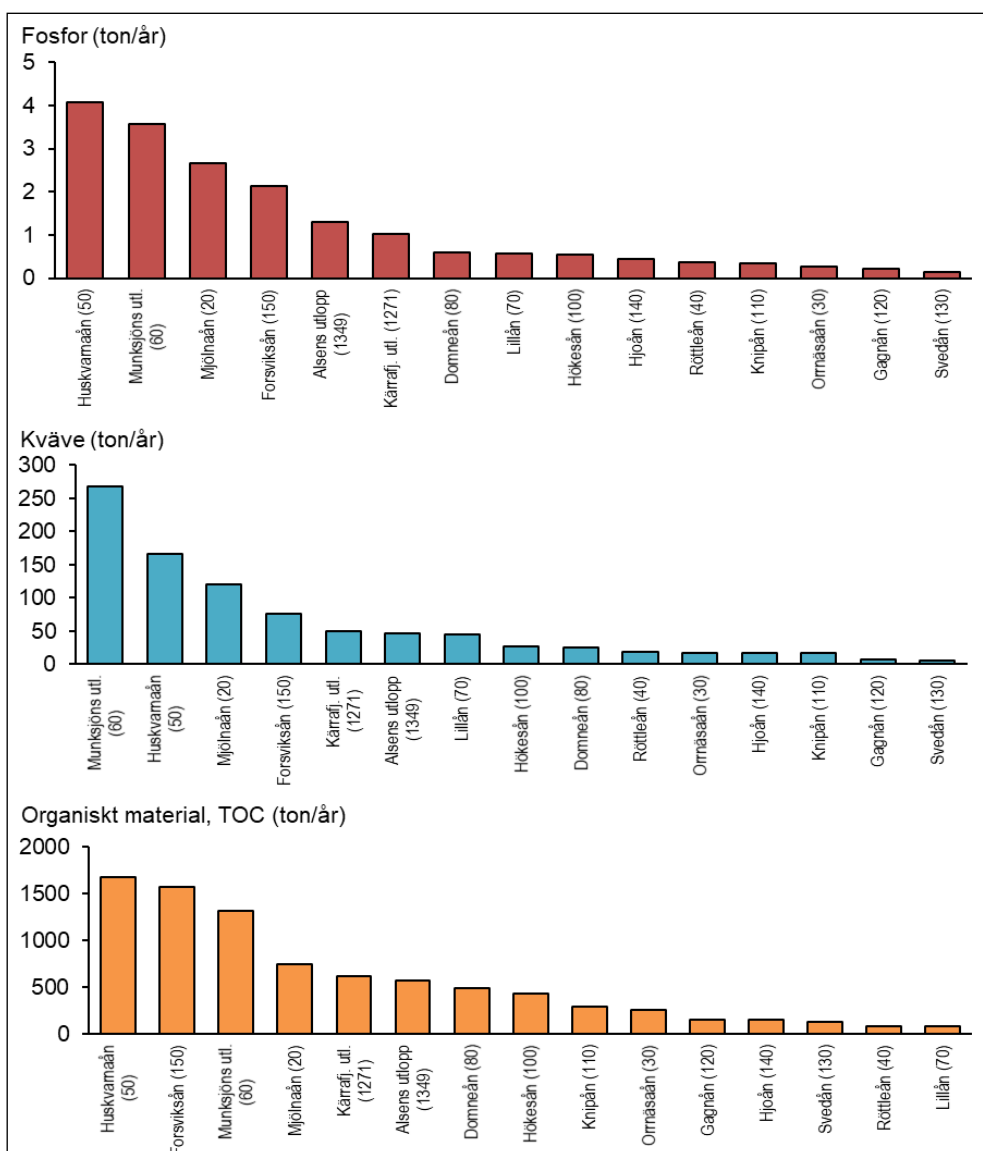
ÄMNESTRANSPORTER

Ämnestransporterna för år 2021 av näringsämnen fosfor och kväve samt syreförbrukande organiskt material (analyserat som TOC) redovisas i tabell 1 och figur 4. Fosfortransporten var störst i Huskvarnaån (22%), följd av Munksjöns utlopp (20%), Mjölnaån (15%) och Forsviksån (12%) samt

Tabell 1. Ämnestransporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) år 2021 för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern samt utloppet Motala ström. Nederst anges transporter till de fyra vattenförekomsterna i Vättern. För Ålebäcken och Malmabäcken kunde inga beräkningar göras, eftersom inga uppgifter om vattenföring fanns att tillgå på SMHI:s Vattenwebb

Provtagningsplats	Fosfor (ton/år)	Kväve (ton/år)	TOC (ton/år)
Tillflöden			
20. Mjölnaån	2,66	120	742
25. Ålebäcken	-	-	-
30. Orrnäsaån	0,257	17,5	255
40. Röttleån	0,371	18,3	83,9
50. Huskvarnaån	4,07	166	1676
60. Munksjöns utlopp	3,56	268	1310
70. Lillån	0,559	45,4	76,0
80. Domneån	0,586	24,6	493
90. Malmabäcken	-	-	-
100. Hökesån	0,552	27,6	433
110. Knipån	0,330	17,0	290
120. Gagnån	0,213	6,67	151
130. Svedån	0,147	5,96	146
140. Hjoån	0,442	17,3	150
150. Forsviksån	2,30	82,8	1690
1349. Alsens utlopp	1,30	46,0	564
1271. Kärrafjärdens utlopp	1,02	50,4	614
Summa	18,4	914	8674
Utlopp			
10. Motala ström	3,31	514	2152
Vattenförekomster			
Alsen	1,30	46,0	564
Kärrafjärden	1,02	50,4	614
Duvfjärden (Alsen+Kärrafjärden)	2,32	96,4	1178
Storvättern	16,1	818	7496

utloppen ur Alsen (7%) och Kärrafjärden (6%). Tillsammans stod dessa sex tillflöden för 81% av den beräknade fosfortransporten till Vättern. Även kvävetransporten dominerades av ovan nämnda tillflöden: Munksjöns utlopp (30%), Huskvarnaån (18%), Mjölmaån (13%) och Forsviksån (8%) samt utloppen ur Kärrafjärden (6%) och Alsen (5%). Dessa sex tillflöden bidrog tillsammans med 80% av kvävet till Vättern. Samma vattendrag, Huskvarnaån (20%) och Forsviksån (18%), Munksjöns utlopp (15%) och Mjölmaån (9%) samt utloppen ur Kärrafjärden (7%) och Alsen (7%), stod även för 76% av transporten av organiskt material. Svedån, Gagnån, Orrnäsaån och Knipån var de tillflöden som bidrog med de minsta näringsämnestransporterna (för kväve även Hjoån), medan Lillån, Röttleån, Svedån, Hjoån och Gagnån stod för de minsta transporterna av organiskt material (<2 % vardera).

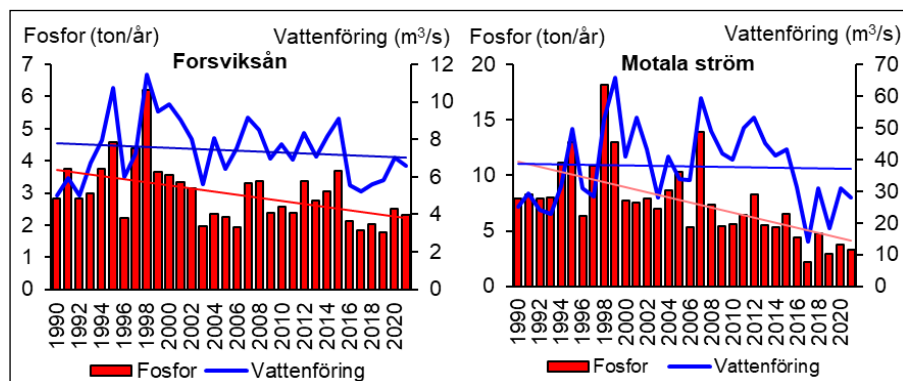


Figur 4. Ämnestransporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) år 2021 för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern sorterade i storleksordning. För Ålebäcken och Malmbäcken kunde inga beräkningar göras, eftersom inga uppgifter om vattenföring fanns att tillgå på SMHI:s Vattenwebb.

I ett längre tidsperspektiv följde transporter av både fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) vattenföringen väl med större transporter under år med högre vattenföring, vilket har sin förklaring i större markläckage vid ökad nederbörd och avrinning. I flera tillflöden och utflödet noterades således de största transporter av fosfor åren 1995, 1998 och 2007. Vid utloppen ur Alsen och Kärrafjärden förekom dock de största transporter av fosfor år 2000 samt i Hökesån, Knipån och Lillån oftast år 2011.

Jämfört med långtidsmedelvärden (oftast från början eller mitten av 1990-talet till och med 2020) var 2021 års transporter, liksom åren 2016 till och med 2020, oftast avsevärt under de normala. För fosfor var skillnaderna störst i Huskvarnaån (-45%), Svedån (-35%) och Forsviksån (-23%). För kväve var skillnaderna störst i Huskvarnaån (-48%), Forsviksån (-29%), Svedån (-27%), Mjölnaån (-24%) och Munksjöns utlopp (-22%). Däremot var 2021 års kvävetransporter i Knipån (+31%) och Hökesån (+29%) avsevärt större jämfört med långtidsmedelvärdet. För organiskt material (analyserat som TOC) var transporter med tre undantag mindre än vanligt med den största avvikelsen i Huskvarnaån (-34%) och Svedån (-22%). I främst Knipån (+38%) och Hökesån (+33%) var 2021 års transport av TOC däremot större än normalt. I Hökesån och Knipån var 2021 års transporter av kväve och TOC de näst respektive tredje största i tidsserien med startår 2003. I Svedån var 2021 års fosfortransport den fjärde minsta sedan 1990 och i Munksjöns utlopp var 2021 års kvävetransport den fjärde minsta sedan 1996. I Huskvarnaån var 2021 års kvävetransport den allra minsta, medan transporter av fosfor och TOC var de tredje minsta i tidsserien med startår 1992. I Vätterns utlopp (Motala ström) var 2021 års transport av både fosfor, kväve och TOC cirka 40-60% mindre än vanligt och en av de fem minsta sedan 1990.

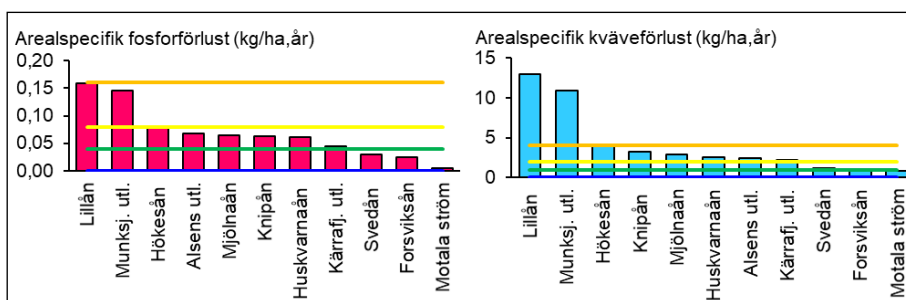
I främst Lillån, Svedån, Forsviksån (figur 5) och Motala ström (figur 5) minskade fosfortransporterna under den knappa 30-årsperioden, medan vattenföringen var tämligen oförändrad eller ökade svagt, vilket kan tolkas som minskad belastning från punktkällor. I Svedån, Forsviksån och Motala ström minskade även kvävetransporterna svagt. I Knipån ökade däremot kvävetransporten tydligt, medan vattenföringen var relativt oförändrat under 2000-talet, vilket kan tyda på ökad påverkan från punktkälla.



Figur 5. Årstransporter av näringsämnet fosfor i Forsviksån (station 150) och Vätterns utlopp, Motala ström (station 10) samt medelvattenföring åren 1990-2021. Linjer avser linjär regression.

AREALSPECIFIKA FÖRLUSTER

För Lillån (Bankeryd) och Munksjöns utlopp bedömdes 2021 års arealförluster (ämnestransporter per avrinningsområdesyta, figur 6) som höga för kväve och måttligt höga för fosfor. Även Hökesån hade strax över gränsen till måttligt höga fosforförluster. För Hökesån, liksom flertalet övriga tillflöden, klassades även kväveförlusten som måttlig (figur 6). Både Lillån och Munksjön är kraftigt belastade av främst kväve från reningsverk i Bankeryd respektive Jönköping (Simsholmen). Lillåns avrinningsområde omfattar även mycket jordbruksmark (37%) och saknar sjöar (figur 2) som fungerar som ”klarningsbassänger”. För Alsens utlopp, Mjölnaån, Knipån, Huskvarnaån och Kärrafjärdens utlopp klassades fosforförlusterna som låga, vilket även gällde kväveförlusten i Svedån (figur 6). Svedån och Forsviksån med stora andelar skogsmark och vattenyta hade båda mycket låga fosforförluster, vilket även gällde kväve i Forsviksån. Mycket låga förluster av både fosfor och kväve förekom även i Vätterns utlopp, Motala ström (figur 6), vilket beror på stor andel vattenyta (35%) i avrinningsområdet samt lång uppehållstid i Vättern (60 år), vilket ger goda förutsättningar för självrening genom utspädning, sedimentation och nedbrytning.



Figur 6. Areal specifika förluster av fosfor respektive kväve år 2021 för 10 av 17 undersökta tillflöden till Vättern samt Vätterns utlopp vid Motala ström. Över blå linje är förlusterna mycket låga, över grön linje låga, över gul linje måttligt höga och över orange linje är de höga. Gränsen för mycket höga fosforförluster är 0,32 kg/ha, år och mycket höga kväveförluster är 16 kg/ha, år. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

För arealspecifika förluster under 2000-talet finns bara en statistiskt säker trend på trestjärnig nivå ($p < 0,001$) gällande minskande fosforförluster i Vätterns utlopp, Motala ström (2000-2021 t.o.m. 2004-2021). Detta är även en av sex stationer med minskande förluster (fosfor 2005-2021 t.o.m. 2008-2021 och kväve 2011-2021) på tvåstjärnig nivå ($p < 0,01$). Övriga fem gäller kväve i Huskvarnaån (2000-2021 och 2002-2021), Munksjöns utlopp (2006-2021 och 2007-2021), Svedån (2004-2021 t.o.m. 2006-2021), Forsviksån (2000-2021) och Kärrafjärdens utlopp (2000-2021). För dessa sex finns även enstjärnigt signifikanta trender ($p < 0,05$) mot minskande förluster av fosfor och/eller kväve för flera år. Andra platser med minskande förluster på enstjärnig nivå för enstaka år är Lillån (fosfor och kväve), Knipån (fosfor) och Alsens utlopp (kväve). I flera fall kan minskande förluster under 2000-talet kopplas till minskande flöde (minskat markläckage). För fyra stationer ökade kväveförlusterna på oftast enstjärnig nivå. Det gäller utloppen ur Kärrafjärden och Alsen, men främst Hökesån och Knipån, där kväveförlusterna oftast klassats som måttligt höga.

Växtplankton

Ingrid Hårding, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Resultaten från 2021 års undersökningar av växtplankton i Vättern visade på hög näringsstatus för både Edeskvarna och Jungfrun. Biomassan var mycket liten under hela säsongen. I juni var biomassan som högst och dominerades då av kiselalger och guldalger. Små arter såsom *Monoraphidium dybowskii*, *Pseudokephyrion entzii* och *Chrysocromulina parva* var relativt vanligt förekommande (figur 1). **Fel! Hittar inte referenskälla.**

Figur 1. Små växtplankton vid Edeskvarna i augusti 2021. Överst: *Monoraphidium dybowskii*, nederst i mitten: *Pseudokephyrion entzii* och till höger om den: *Chrysocromulina parva*.

Inledning

Växtplanktonsamhället i Vättern har följts i fyrtio år. Genom att analysera artsammansättning, arters relativa förekomst samt biovolym flera gånger årligen bevakas tillståndet och eventuella förändringar. Växtplanktonsamhällen förändras tydligt vid ändringar i till exempel näringsbelastning, betningsstryck, vattentemperatur, ljusförhållanden och försurningspåverkan. Även för att förstå förändringar i andra delar av näringsväven är kunskap om primärproducenternas utveckling viktig.

Provtagnings- och analysmetoder

Provtagning av växtplankton i Vättern utförs fyra gånger om året under perioden april till september. År 2021 utfördes provtagningarna 28 april, 2–3 juni, 3–4 augusti och 31 augusti. Provtagningen av växtplankton sker på samma stationer som vattenkemiproverna tas (tabell 1).

Tabell 1. Stationer för undersökning av växtplankton i Vättern (koordinater i RT 90, 2.5 gon V)

Nr	Station	Koordinater (x-y)	Maxdjup (m)	Provtagningsnivåer (m)
1	Edeskvärna	6424370-1406420	115	0-24 (blandprov)
2	Jungfrun	6486950-1434130	75	0-24 (blandprov)

Kvantitativa prov tas med en rörhämtare från varje tvåmetersintervall ned till 24 m (0–2, 2–4 m och så vidare) och samlas till ett blandprov. Ur blandprovet tas ett delprov för analys. Vid varje provpunkt tas dessutom ett kvalitativt prov från 0–24 meters djup genom vertikal håvning. Håvens masktäthet är 25 µm. Samtliga prov konserveras med Lugols lösning. Artbestämning, räkning och mätning av växtplankton görs med hjälp av ett omvänt faskontrastmikroskop enligt så kallad Utermöhl-teknik (Utermöhl 1958) i enlighet med SS-EN 15204 (SIS 2006), ”Handledningen för miljöövervakning” (Havs och vattenmyndigheten 2016) och standarden SS-EN 16695:2015. Sedimenterad volym för 2021 års prover var mellan 10 och 25 ml. Statusklassningen utfördes enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (Havs och vattenmyndigheten 2013 respektive 2019).

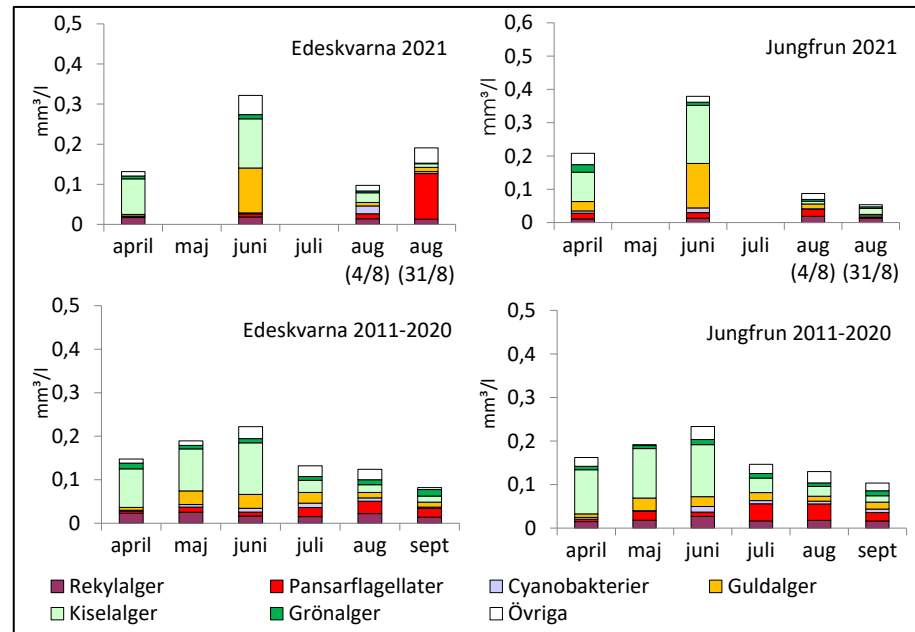
Provtagningsmetodik och nödvändig utrustning för kvantitativ och kvalitativ provtagning av växtplankton finns utförligt beskriven i ”Handledning för miljöövervakning”, undersökningstyp: ”Växtplankton i sjöar” (<https://www.havochvatten.se/>).

Resultat och diskussion

Nedan följer en sammanfattande redovisning av resultaten från 2021 års provtagning. Fullständiga artlistor återfinns på hemsidan för Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet, SLU (<http://www.slu.se/vatten-miljo>), som är datavärd.

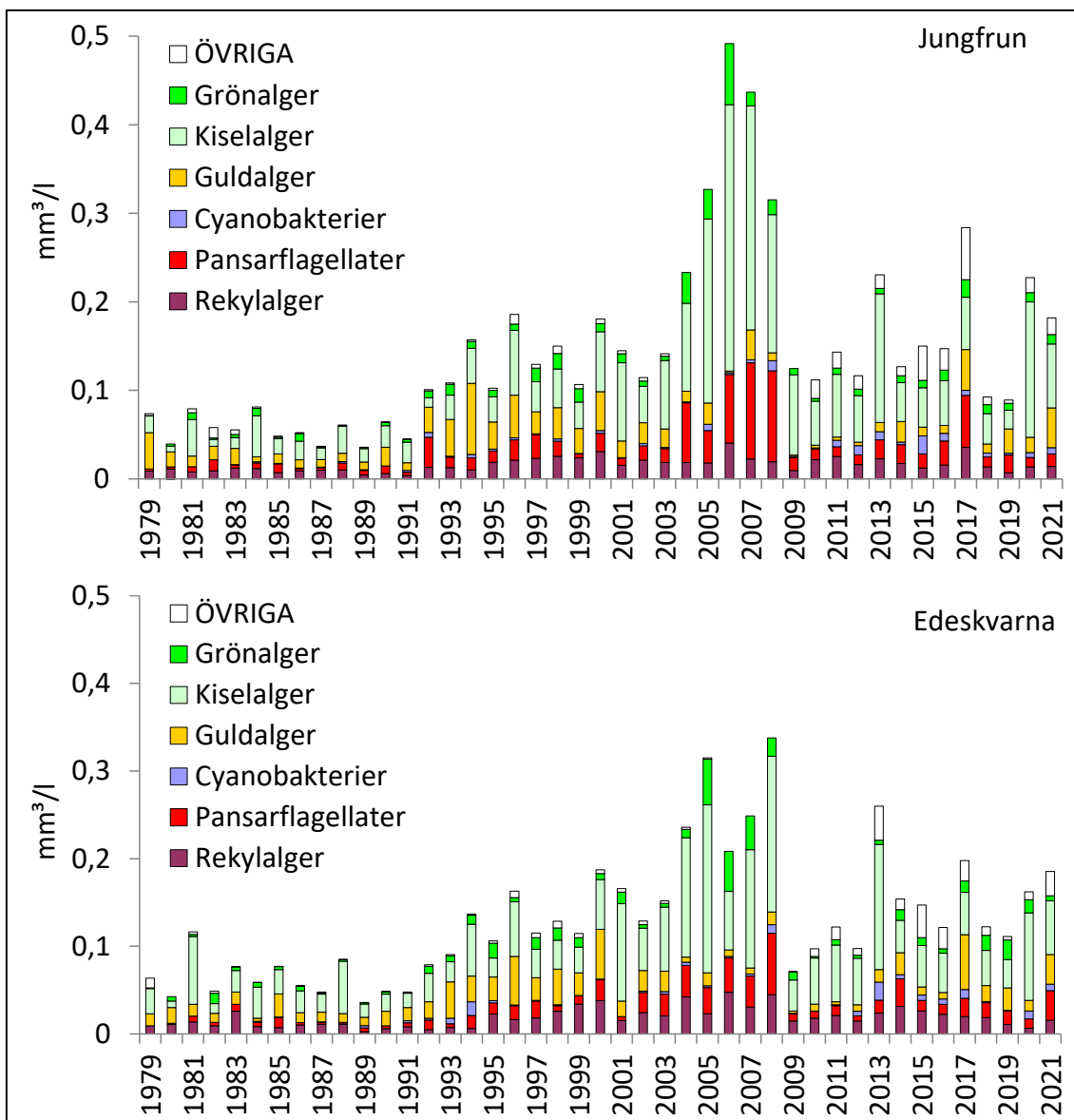
Vätterns växtplanktonsamhälle är typiskt för näringsfattiga sjöar. Det visar sig genom att biovolymerna är små, att indikatorerna på oligotrofi (näringsfattigdom) är många och att cyanobakterier (blågrönalger) inte förekommer i någon större mängd. Antalet arter är vanligtvis mellan 40 och 50 i juli-augusti och artsammansättningen domineras av kiselalger, guldalger, rekylalger och pansarflagellater. Resultaten från år 2021 överensstämmer väl med detta. Den totala biovolymen av växtplankton var mycket liten vid både Edeskvärna och Jungfrun (figur 2). Den största biovolymen, dominerad av kiselalger och guldalger, noterades i juni. Biomassan var då

0,38 mg/l vid Jungfrun och 0,32 mg/l vid Edeskvarna, vilket alltjämt är en mycket liten biomassa. Mängden kiselalger i april var fortsatt liten, vilket också visar att Vättern är näringsfattig. Artantalet var högst i juliprovet från Edeskvarna, då 44 taxa/arter påträffades. Arter som indikerar oligotrofi (näringsfattigdom) var vanligt förekommande under året, främst olika guldalger. Det noterades mycket låga biomassor av potentiellt giftbildande cyanobakterier (blågrönalger) vid 2021 års provtagningar.



Figur 2. Biovolym av växtplankton vid 2021 års provtagningar samt månadsmedelvärden för perioden 2011–2020 för stationerna Edeskvarna och Jungfrun i Vättern. Värdena avser prov tagna på 0–24 meters djup.

Enligt tidsserien (figur 3) kan det se ut som att växtplanktonbiomassan i Vättern har ökat sedan år 1979. Detta förklaras dock till stor del av förändrad analysmetodik år 1992. Innan dess beräknades biomassan bara på de dominerande arterna i provet. Totalbiomassan var således egentligen lite högre dessa år än vad figuren visar. Metoden under efterföljande år innebär att biomassan beräknas på alla funna arter i provet, och endast små förändringar i metodiken bör ha förekommit. Från och med 2019 års provtagning började till exempel mätstandarden SS-EN 16695:2015 användas, vilket innebär ändrad formel för volymsberäkningen för vissa arter, men detta ser inte ut att ha förändrat resultaten i någon större mån. Biomassan av växtplankton i Vättern har dock, oavsett metod, varit mycket liten under hela undersökningsperioden. Växtplanktonbiomassan i en sjö som Vättern anses vara mycket liten om den är under 0,5 mg/l, och liten om biomassan är under 1 mg/l.



Figur 3. Säsongsmedelvärden för biovolym av växtplankton uppdelade på viktiga grupper vid stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern åren 1979–2021. Analysmetodiken åren 1979–1991 innebar att bara dominerande arter analyserades, varför biomassan dessa år förmodligen var något högre än diagrammet visar. Åren 1979–2003 gjordes analyserna vid SLU, 2004–2009 vid Pelagia Miljökonsult AB och 2010–2021 vid Medins Havs och Vattenkonsulter AB.

Klassificeringen av en sjös näringsstatus med avseende på växtplanktonsamhället ska göras på ett juli- eller augustiprov. Enligt tidigare bedömningsgrunder (Havs- och vattenmyndigheten 2013) beräknas statusen genom en sammanvägning av följande parametrar: totalbiomassa av växtplankton, andel cyanobakterier (blågrönalger) och trofiskt planktonindex (TPI). Från och med år 2019 redovisas även näringsstatus enligt de nyare bedömningsgrunderna (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Enligt dessa beräknas statusen genom en sammanvägning av totalbiomassa av växtplankton och planktontrofiskt index (PTI). Enligt både de äldre och nyare bedömningsgrunderna sker klassningen av näringsstatus i en femgradig skala: hög status, god status, måttlig status, otillfredsställande status och

dålig status. Medelvärden från tre års provtagningar bör användas för klassificeringen. I tabell 2 visas värden för nämnda parametrar och sammanvägd status för Edeskvarna respektive Jungfrun. De olika delkriterierna gav ett samstämt resultat och båda stationerna fick hög sammanvägd status enligt både de äldre och nyare bedömningsgrunderna.

Tabell 2. Sammanvägd näringsstatus och ingående parametrars värden, baserat på juli/augusti-värden från undersökningar av växtplankton vid stationerna Edeskvarna och Jungfrun i Vättern. Treårsmedel avser åren 2019-2021.

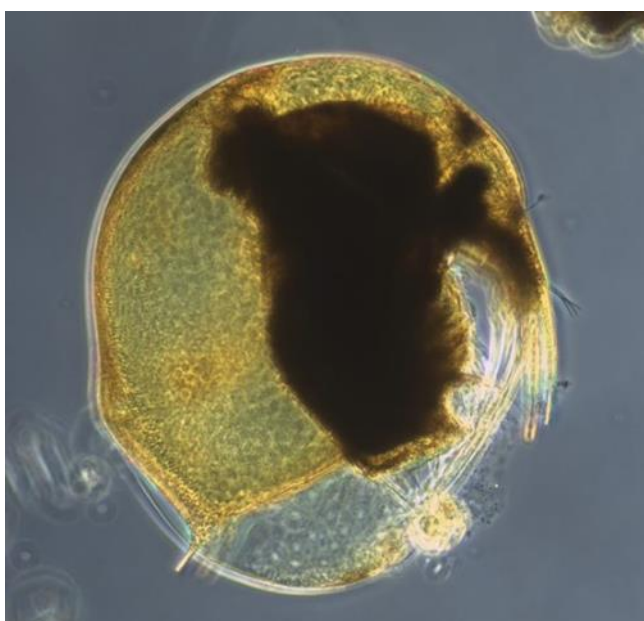
Station	Totalbiomassa (mg/l) 3-års medelvärde	Klassning enligt HVMFS 2013:19 (3 årsvärden)			Klassning enl. HVMFS 2019:25 (3 årsvärden)	
		Andel cyanobakterier (%)	Trofiskt planktonindex (TPI)	Sammanvägd status	Planktontrofiskt index (PTI)	Sammanvägd näringsstatus
Edeskvarna	0,084	8,22	-0,48	Hög	0,100	Hög
Jungfrun	0,099	4,07	-1,00	Hög	-0,252	Hög

Djurplankton

Ingrid Hårding, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Under år 2021 var mängden djurplankton i Vättern fortsatt liten, vilket tyder på ett näringsfattigt tillstånd. Vanliga arter var till exempel hjuldjuren *Keratella cochlearis* och *Kellicottia longispina* samt hoppkräftan *Eudiaptomus gracilis* och hinnkräftan *Bosmina (Eubosmina) longispina* (Figur 1). Även glacialrelikerna *Eurytemora lacustris*, *Heterocope appendiculata* och *Limnocalanus macrurus* var vanligt förekommande. Arter som indikerar näringsfattigdom dominerade artsammansättningen.



Figur 1. *Bosmina (Eubosmina) longispina* från Edeskvarna år 2021, en vanlig djurplanktonart i Vättern. Foto: Medins Havs och Vattenkonsulter AB ©.

Inledning

Övervakningen av djurplankton omfattar hoppkräftor, hinnkräftor och hjuldjur. Av dessa är framför allt hinn- och hoppkräftor viktig föda för pelagisk fisk (pelagisk innebär att den lever i den fria vattenmassan), medan hjuldjur kan vara viktig föda för nykläckta yngel av flera fiskarter. Vissa storvuxna arter av hinnkräftor är rovlevande och kan ibland konkurrera med planktonätande fisk om födan, samtidigt som de själva utgör begärliga byten för fisk. Därför är mängden djurplankton avgörande för både sportfisket och det kommersiella fisket. Djurplankton har även andra viktiga funktioner. Eftersom många djurplanktonarter lever på att filtrera växtplankton och partiklar ur vattnet, bidrar de till exempel till att upprätthålla Vätterns klara vatten, till glädje för friluftslivet och dricksvattenkonsumenter.

Djurplankton vandrar i djupled över dygnet och befinner sig i en komplicerad näringsväv. De påverkas bland annat både av mängden växtplankton och av mängden planktonätande fisk. Djurplankton är därför inte den organismgrupp som först påverkas av miljöförändringar. När det väl inträffar tydliga förändringar i djurplanktonsamhället brukar det å andra sidan vara en konsekvens av någon betydande miljöpåverkan. Förändringar bland djurplankton kan till exempel indikera förändringar både i växtplankton- och fisksamhället. Övervakning av djurplankton är således viktig för att kunna förstå bakgrunden till andra biologiska förändringar i Vättern.

Vissa arter av djurplankton har även ett särskilt bevarandevärde på grund av sin intressanta biologi, historia eller sin ovanlighet. Det gäller till exempel relikthoppkräftan *Limnocalanus macrurus*, som är en av Vätterns glacialrelikter (istidsrelikter).

Provtagnings- och analysmetoder

Djurplanktonproven togs 3–4 augusti samt 31 augusti på tre djupnivåer: 0–10 meter, 10–20 meter och 20–40 meter. För provtagning av hinn- och hoppkräftor användes en WP 2-håv med stängningsmekanism (Hydrobios, diameter: 57 cm, maskvidd: 100 µm) som drogs vertikalt genom det aktuella provtagningsskiktet. Hjuldjur provtogs med vattenhämtare, modell Limnos, från tre djup inom respektive provtagningsskikt (0,5, 5 och 10 meter; 10, 15 och 20 meter respektive 20, 30 och 40 meter) och de tre proven från varje skikt slogs samman och filtrerades genom ett 25 µm såll. Djurplanktonproven konserverades med neutral Lugols lösning.

Analysen utfördes med hjälp av ett inverterat mikroskop vid 25–400 gångers förstoring. Minst cirka 100 rotatorier (hjuldjur) och 100 kräftdjur från varje prov räknades och artbestämdes. Större arter, som t.ex. *Limnocalanus* och *Leptodora*, räknades i en större del av provet eller i hela provet om det var möjligt. Metoderna för provtagning och analys följde ”Handledning för miljöövervakning”, undersökningstyp: ”Djurplankton i sjöar” (Havs- och vattenmyndigheten 2016) och provtagningsprogrammet för Vättern.

Resultat och diskussion

ARTFÖREKOMST

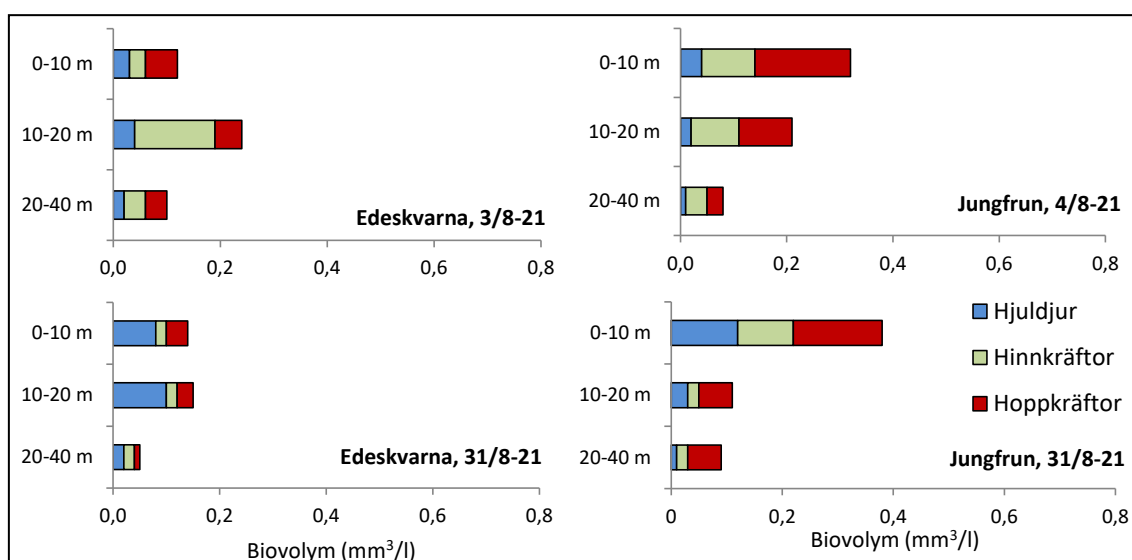
Nedan följer en sammanfattande redovisning av resultaten från 2021 års provtagning. Fullständiga artlistor återfinns hos datavärden SLU, på hemsidan för Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (<http://www.slu.se/vatten-miljo>), som är datavärd.

Djurplanktongsamhället i Vättern är artfattigt. Sammantaget i proven hittades totalt cirka 17 olika arter av kräftdjur och cirka 14 arter av hjuldjur. Vätterns djurplanktongsamhälle är stabilt vad gäller artförekomst och 2021 års artsammansättning liknar tidigare års. Bland indikatorerna överväger arter som föredrar näringsfattiga förhållanden. De dominerande arterna bland hinnkräftorna var *Daphnia galeata*, *Daphnia cristata* och *Bosmina longispina* (figur 1) samt bland hoppkräftorna *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis* och *Eurytemora lacustris*. Bland hjuldjuren dominerade arterna *Keratella cochlearis*, *Kellicottia longispina* och *Conochilus* spp.

Tätheten av hjuldjur är mycket liten i Vättern. Det kan dels vara en effekt av den rikliga förekomsten av stora hinn- och hoppkräftor, dels en effekt av den lilla biomassan av växtplankton. Både bland hinn- och hoppkräftorna förekommer arter som är känsliga för intensivt predationstryck från fisk. Det gäller till exempel *Daphnia galeata*, *Holopedium gibberum* och *Limnocalanus macrurus*. Den rovlivande hinnkräftan, *Leptodora kindtii*, påträffades år 2021 vid tre av fyra provtagningar. Arten är en aktiv simmare och lever av att äta andra djurplankton. Den är storvuxen och ett begärligt byte för fisk, men skyddas i viss mån av att den är transparent. Även en annan rovlivande hinnkräfta, *Bythotrephes longimanus*, påträffades vid en av provtagningarna år 2021.

UTBREDNINGSMÖNSTER

Figur 2 ger en sammanfattande bild av djurplanktongsamhället och dess djupfördelning vid 2021 års undersökning. Den största biovolymen påträffas ofta i de översta vattenskiikten, men det kan variera på grund av t.ex. väderförhållanden eller vattnets skiktning. Den sortens fördelning vad år 2021 tydligast vid provtagningarna vid Jungfrun.



Figur 2. Biovolymen av djurplankton fördelad på hoppkräftor, hinnkräftor och hjuldjur från de tre provtagningsnivåerna vid stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern år 2021.

Individtätheten av hjuldjur var mycket liten vid alla provtagningar, i medel 121 individer per liter i ytvattnet, vilket tyder på näringsfattiga förhållanden (Figur 3).

Enskilda arter kan ha specifika utbredningsmönster. Större hoppkräftor som glacialrelikterna *Heterocope* och *Limnocalanus* brukar oftast påträffas mer rikligt i djupare vatten, där de kan gömma sig från fiskpredation under dagtid och vattentemperaturen är svalare. I 2021 års prov var det dock inte så, utan dessa arter var relativt vanliga även i proven från 0–10 meter. Den betydligt mindre hoppkräftan, *Eudiaptomus gracilis*, har ofta en utbredning med högst tätheter närmare ytan och lägre djupare ner, vilket stämmer med 2021 års resultat. Arten löper troligen mindre risk att bli upptäckt och uppäten av fisk, varför den med mindre risk kan uppehålla sig i ytligt vatten på dagen.

Olika djurplanktonarters utbredningsmönster kan ha konsekvenser för transporten av näring mellan olika vattennivåer, särskilt om de äter på vissa djup och utsöndrar näring på andra djup. Även fiskars aktivitet påverkas av djurplanktons utbredning och vandringsbeteenden. Pelagisk fisk som nors och siklöja äter i de skikt där eftertraktade djurplankton uppehåller sig, vilket i sin tur förväntas locka dit rovfiskar.

FÖRÄNDRINGAR I DJURPLANKTONSAMHÄLLET

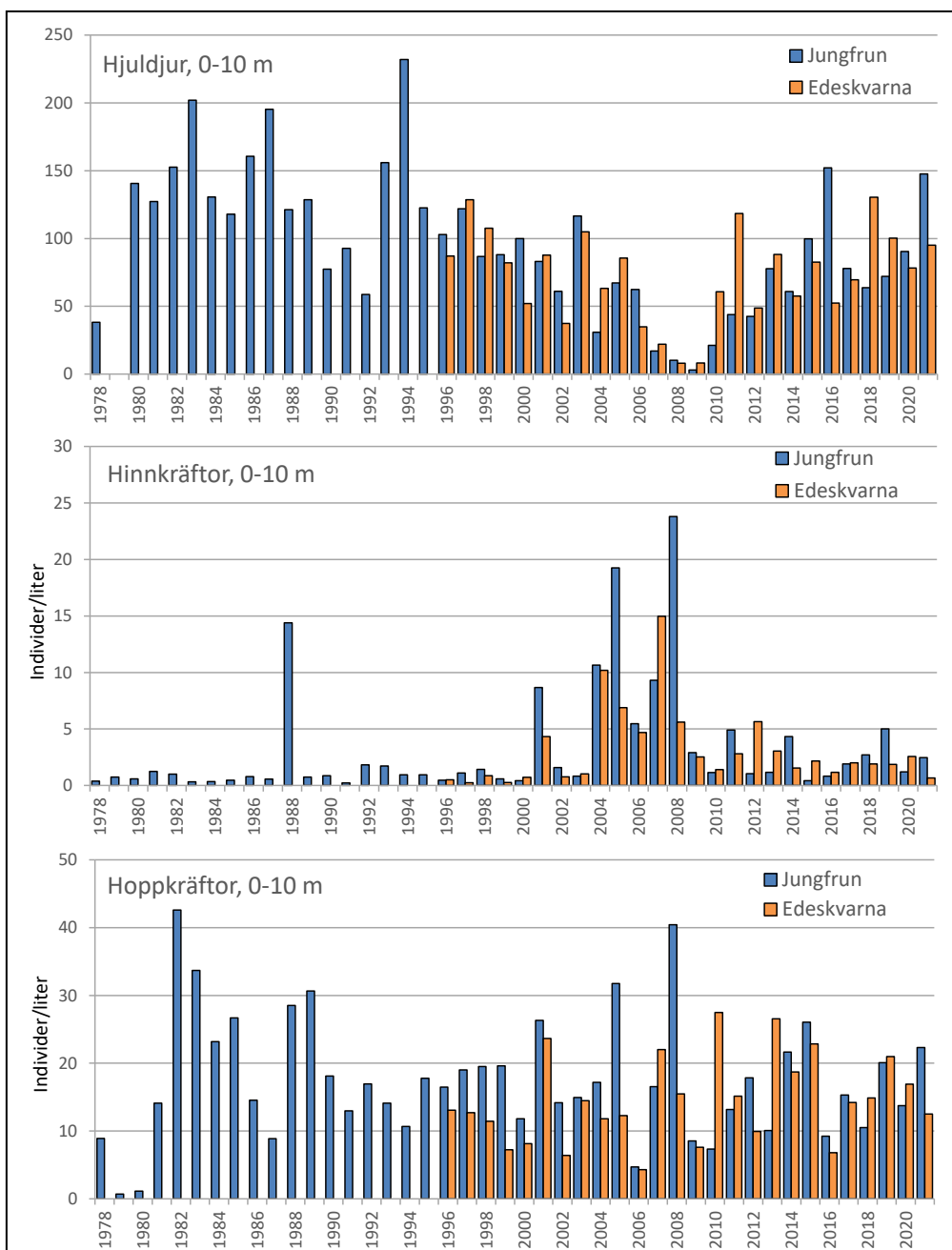
Jämförbara data över djurplanktonmängder i Vättern finns tillgängliga från år 1978 för stationen vid Jungfrun och från år 1996 för stationen vid Edeskvärna. Enligt den längre tidsserien är det framför allt två förändringar som har inträffat (figur 3). För det första var mängden hjuldjur mindre efter mitten av 1990-talet med den lägsta rapporterade tätheten år 2009. Under åren därefter har tätheten åter varit större. Den andra förändringen som syns är att hinnkräftorna rapporterades vara mer vanligt förekommande under 2000-talets början och antalet var under en följd av år konsekvent större än genomsnittet för perioden. Åren 2009–2021 var tätheten återigen mindre.

Tidsserien för Edeskvärna är kortare och det är svårare att se tydliga förändringar, men samma tendenser som vid Jungfrun kan anas. Den totala mängden hoppkräftor har troligen inte förändrats nämnvärt vid någon av stationerna, men tolkningen försvåras av att variationen mellan åren är relativt stor.

De arter av hinnkräftor som förekommit rikligt det senaste decenniet är *Bosmina longispina*, *Daphnia cristata* och *Daphnia galeata*. Dessa arter är omtyckt föda för pelagisk fisk. En orsak till hinnkräftornas ökning under 2000-talets början skulle således kunna ha varit förändringar i täthet, åldersstruktur eller beteenden hos de fiskpopulationer som framför allt reglerar dessa hinnkräftors mängd ute i det fria vattnet (siklöja och nors). Samtidigt kan mängden hjuldjur påverkas negativt av hinnkräftornas aktivitet. Dels konkurrerar filtrerande hinnkräftor som *Bosmina* och *Daphnia*

om födan med många hjuldjur, dels kan åtminstone *Daphnia* filtrera i sig en del hjuldjur.

De eventuella förändringarna i djurplanktonsamhället under det senaste decenniet skulle således ha kunnat orsakats av förändringar i fisksamhället. Det finns dock även andra faktorer som påverkar mängderna av hjuldjur samt av hinnkräftorna *Bosmina* och *Daphnia*. Dit hör till exempel mängden stora, rovlevande djurplankton och tillgången på växtplankton.



Figur 3. Utvecklingen av mängden hjuldjur, hinnkräftor och hoppkräftor i det ytligaste vattenskiktet (0-10 m) vid stationerna Jungfrun och Edeskvärna i Vättern. Staplarna avser augustivärden för perioden 1979-1995 och för åren 2012-2013. För övriga år avser staplarna medelvärde för två prover per år (juli och augusti/september). Åren 1978-2003 gjordes analyserna vid SLU, 2004-2009 vid Pelagia Miljökonsult AB och 2010-2021 vid Medins Havs och Vattenkonsulter AB.

Bottenfauna

Mikaela Sandgathe, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Bottenfaunan dominerades som tidigare år av vitmärlor och glattmaskar. Vid samtliga stationer utom St Aspön tyder en trendanalys på att andelen fåborstmaskar har minskat medan andelen vitmärlor har ökat, vilket skulle kunna indikera en minskad eutrofiering. Provtagning av dessa djupa stationer är emellertid relativt komplicerad, och har utförts av olika konsulter genom åren. Trots förhållandevis stabila miljöförhållanden på djupbotten har variationen i individtäthet mellan åren varit stor. Detta gör trendanalysen osäker. Stora mängder vitmärlor kan med sin omfattande bioturbation (mekanisk störning av botten vid födosök) ibland påverka övrig bottenfauna negativt. Det har emellertid inte gått att påvisa något sådant samband mellan djurgruppernas förändringar.

Samtliga beräknade index visade på hög vattenkvalitet för alla tre provtagningsstationerna, och statusen bedömdes som hög med avseende på eutrofiering (övergödning).



Figur 1. Ishavsrelikten skorv, *Saduria entemon*.

Inledning

Beteckningen bottenfauna avser ryggradslösa djur (insekter, fåborstmaskar, iglar, virvelmaskar, snäckor, musslor och kräftdjur) som lever på botten i vattenmiljöer. Djuren uppehåller sig i vattnet under hela eller delar av sitt liv (1-7 år) och ger ett mått på vattenkvaliteten över denna tid. Bottenfaunan är en av de lägsta trofinivåerna (näringnivåerna) i en sjös ekosystem och är viktig för nedbrytning av döda plankton och andra organismer samt är grundläggande föda för bottenlevande fisk.

Provtagnings- och analysmetoder

Provtagningen utfördes 10 oktober 2021. Sedan år 2004 tas fem prover per station med en större van Veen-hämtare (total area cirka 0,5 m², figur 2). Dessförinnan togs tio prover per station med Ekman-huggare (total area 0,250 m², figur 1) fram till och med år 2003. En större provyta leder normalt sett till att fler arter hittas, men brukar inte påverka skattningarna av individtätet.



Figur 2. Provtagning av bottenfauna med van Veen-hämtare (till vänster) respektive Ekmanhäm-
tare (till höger).

Resultat och diskussion

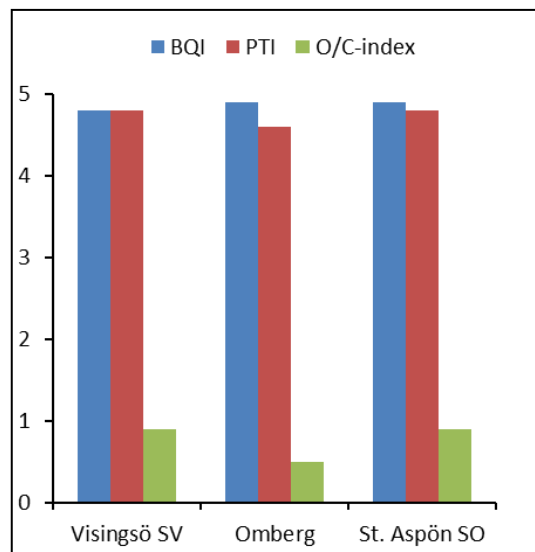
Bottenfaunasamhällena på stationerna i Vättern är likartade över åren. Artantalen är normalt måttligt höga till höga (se tabell 1) samtidigt som flera intressanta och för Vättern typiska arter förekommer.

Tabell 1. Antal taxa/arter, individtätet och statusklassning för stationerna i Vättern år 2021

Provyta	Provdjup (m)	Totalantal taxa	Individtätet (Individer/m ²)	Ekologisk status (HVM:s kriterier)
3. Vättern, Visingsö SV	110	11 (högt)	2 236 (måttligt högt)	Hög
4. Vättern, Omberg	99	11 (högt)	2 916 (högt)	Hög
5. Vättern, St Aspön SO	90	12 (högt)	1 974 (måttligt högt)	Hög

Dels förekommer oftast flera mycket näringskänsliga fjädermygglarver, vilket medför mycket höga värden på BQI-index. Dessutom förekommer oftast flera syrekrävande och näringsämneskänsliga arter av fåborstmaskar, vilket medför mycket höga värden även på indexet PTI. Båda dessa

index uppvisar i Vättern värden som närmar sig sina maximala gränser (se figur 3) och som är bland de högsta uppmätta i Sverige.



Figur 4. Värden på föroreningsindex för bottenfauna vid stationerna i Vättern år 2021.

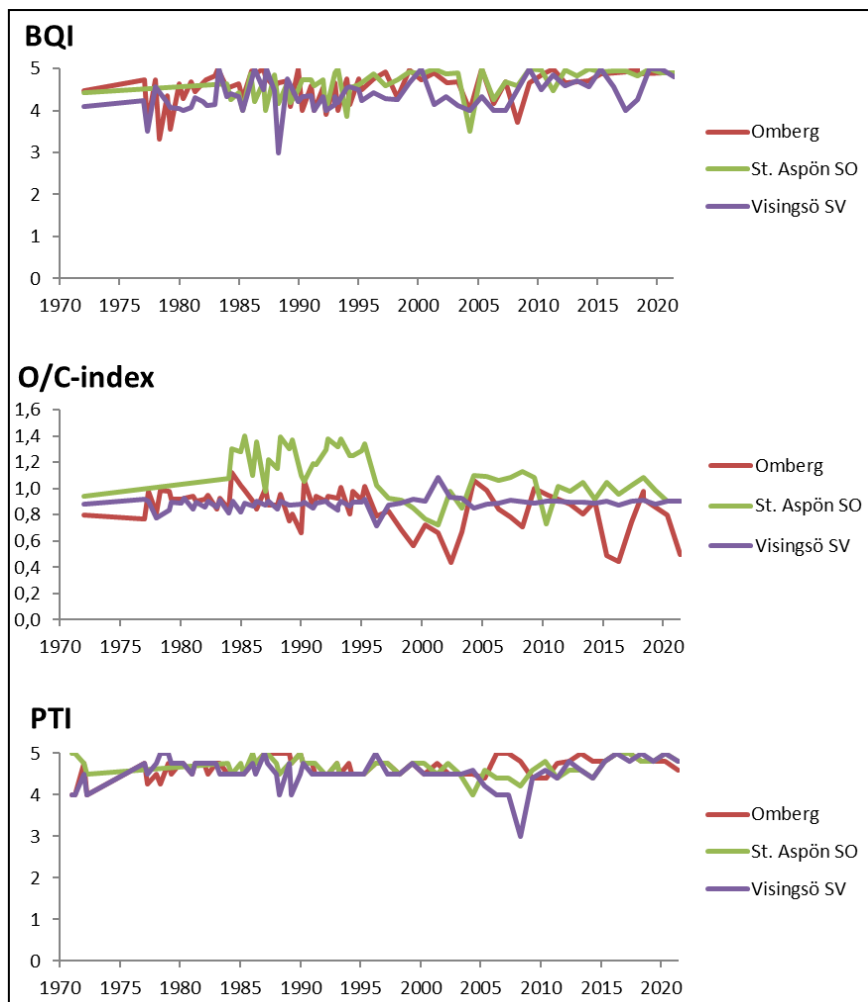
GLACIALRELIKTER

Vid årets undersökning påträffades flera olika arter av glacialrelikter. Vitmärlan *Monoporeia affinis* förekom i höga tätheter vid samtliga stationer. Även enstaka individer av taggmärlan *Pallasea quadrispinosa* påträffades på alla tre stationerna, men bara enstaka individer. Vid Visingsö påträffades den lägsta tätheten av vitmärlor för året och var den enda platsen där pungträkan *Mysis relicta* hittades. Vid Omberg hittades skorv, *Saduria entomon* (figur 1) De två sist nämnda arterna, speciellt skorv, påträffas inte vid varje års undersökning. Beteckningen glacialrelikter, eller istidsrelikter, syftar på de organismer som levde i det forna ishavet, och som sedan "blev kvar" i sjöarna vid landhöjningen då inlandsisen drog sig tillbaka för cirka 9000 år sedan. Deras naturliga utbredning inskränker sig därför till sjöar och vattendrag under högsta kustlinjen. Istidsrelikterna är känsliga för både låga syrgashalter och låga pH-värden.

På två stationer påträffades dessutom den nationellt ovanliga fåborstmasken *Tasserkidrilus acapillatus*. Denna art har tidigare endast återfunnits längre österut i stora, näringsfattiga sjöar som exempelvis Bajkalsjön, Tajmyrsjön och Kaspiska havet. Arten har sannolikt funnits i Vättern även tidigare, men inte identifierats förrän vid 2010 års undersökning då den även blev en ny art i Sverige.

INDEX OCH TRENDER

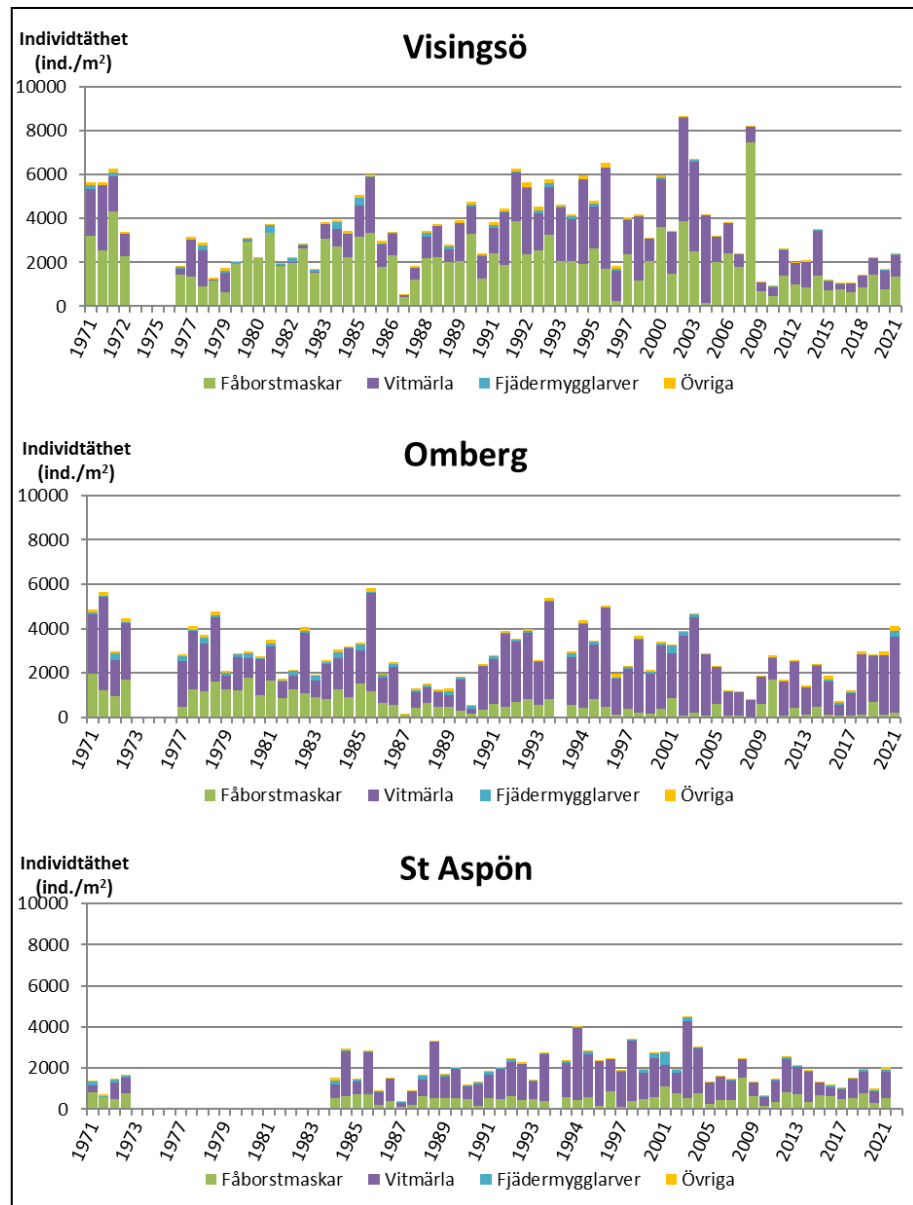
BQI (Benthic Quality Index), O/C-index och PTI (Profundalt Trofi-Index) beräknades för samtliga stationer. Indexen (beskrivna i Wiederholm 1999, HVMFS 2019:25 och Liungman & Ericsson 2006) används normalt för klassning av status och tillstånd med hjälp av profundalfauna (profundal betyder djupbotten). BQI bygger på förekomsten av indikatorarter bland fjädermyggor och kan anta värden från 0 till 5. PTI är ett multimetriskt index (består av flera delindex) och kan anta värden från 1 till 5. För BQI och PTI indikerar höga värden en näringsfattig miljö. O/C-index beräknas som ett djupkompenserat förhållande mellan maskar och sedimentlevande fjädermyggor och kan anta värden från 0 och uppåt. För O/C-index gäller att högre värden indikerar större näringsbelastning. Samtliga stationer uppvisade indexvärden som tydligt visar på näringsfattiga förhållanden och liten eller obetydlig påverkan från näringsämnen/organiskt material (se figur 3). Därmed bedömdes samtliga stationer ha en hög status med avseende på övergödning.



Figur 5. Värden för BQI, O/C-index och PTI vid provtagningar på stationerna i Vättern i augusti 1971–2021. För BQI har alla noll-värden tagits bort, det vill säga då inga indikatorarter påträffats. Skillnader i taxonomisk upplösning och (nivå för artbestämning) och kvalitet har dessutom medfört att värdena för PTI kan vara marginellt missvisande fram till och med år 2010.

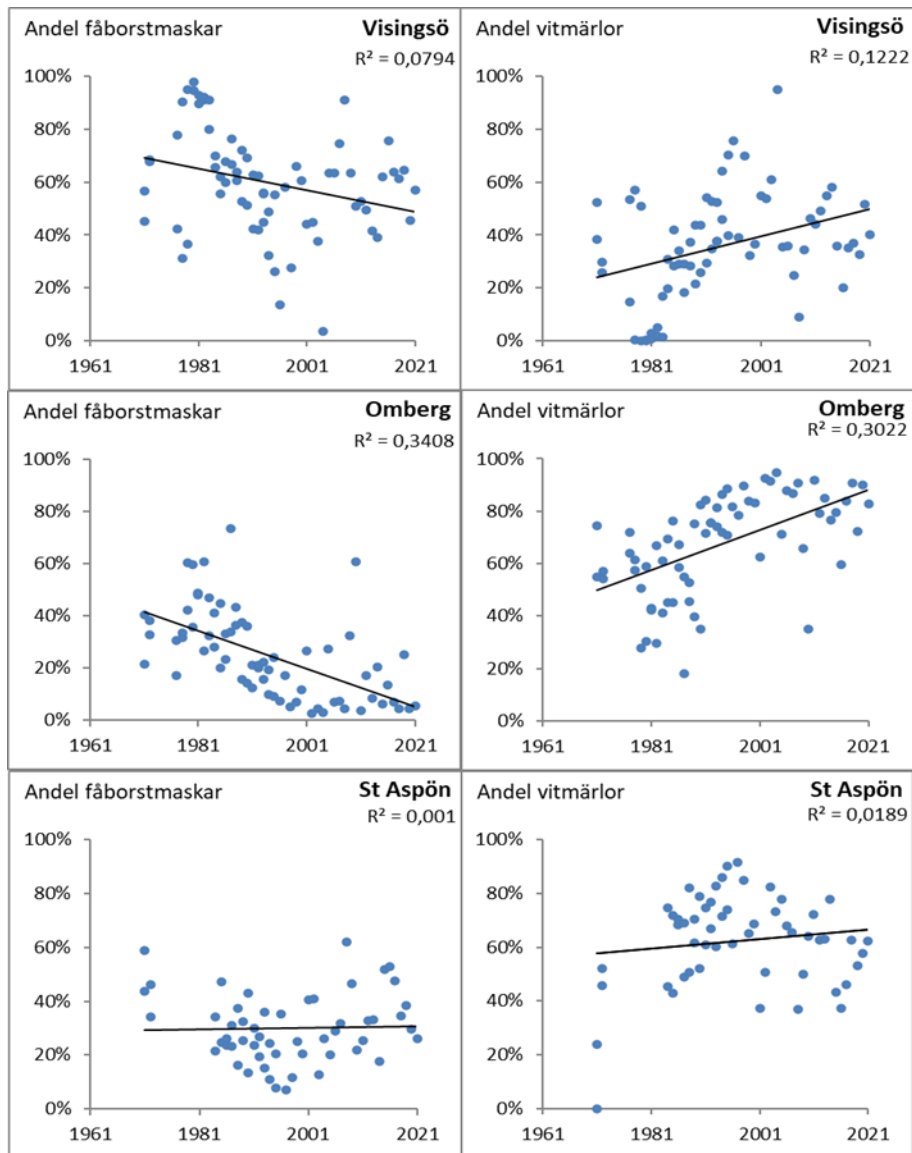
På uppdrag av Vätternvårdsförbundet har Medins Havs och Vattenkon-sulter AB räknat fram historiska värden på BQI, O/C-index och PTI. Re-sultaten visar att förhållandena varit stabila på stationerna samt att BQI indikerat hög status (BQI >2,01) under hela undersökningsperioden (se figur 4).

Individtätheterna har för samtliga djurgrupper varierat betydligt under årens lopp på alla stationer (se figur 5). Några tydliga trender eller föränd-ringar i vattenkvalitet har inte gått att identifiera.



Figur 6. Individtäthet för de fyra vanligaste bottenfaunagrupperna vid provtagningar i augusti 1971–2021 vid stationerna i Vättern.

Vid en analys av andelen fåborstmaskar (*Oligochaeta*) och vitmärlor (*Monoporeia affinis*) kan en svag trend skönjas mot minskande andel fåborstmaskar och ökande andel vitmärlor, framför allt vid Omberg (se figur 6). Spridningen av data är dock stor och det har inte gått att visa att dessa grupperns förändringar är korrelerade till varandra.



Figur 7. Andel fåborstmaskar och vitmärlor i förhållande till totalantalet djur på stationerna i Vättern åren 1971–2021. Den svarta linjen är en linjär regressionslinje, R-kvadratvärdet finns uppe till höger i varje diagram.

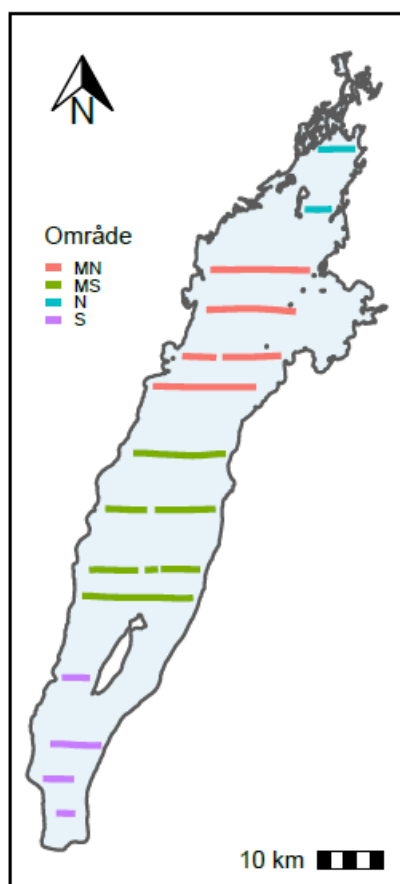
Pelagisk fisk i Vättern 2021

Björn Rogell och Thomas Axenrot, Sötvattenslaboratoriet, Institutionen för Akvatiska resurser, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sammanfattning

Sötvattenslaboratoriet vid Institutionen för akvatiska resurser, SLU, genomförde hösten 2021 hydroakustiska undersökningar med provtrålning i Vättern. Undersökningarna genomfördes mellan 2021-09-06 och 2021-09-10, och är ett i raden av de årliga hydroakustiska undersökningar som utförs i Mälaren, Väneren och Vättern. Under undersökningen delades Vättern in i fyra delområden (Norra (N), Mellersta-Norra (MN), Mellersta-södra (MS) och Södra (S) Vättern). Resultat av analyserna 2021 omfattar 7 arter, inklusive kombinationer av art och åldersklass (hornsimpa, nors 0+, nors >0+, sik, siklöja 0+, siklöja >0+ och storspigg). För de undersökta arterna var populationsutvecklingen över tid relativt likartad. Jämförelser utfördes mellan medelvärdet för de senaste två åren (2021 och 2020), och medelvärdet för de föregående fem åren (2015-2019). Förslag angående förvaltning ges för siklöja och nors då övriga arter inte fångas i tillräckliga antal att basera rådgivning på.

- Siklöja hade en mycket stark rekrytering år 2021. Antalet ettåriga och äldre siklöjor har varit relativt stabilt de senaste åren. Detta beror på måttligt goda till starka rekryteringar 2013, 2016, 2018 och nu 2021, vilket är ovanligt frekvent för Vättern.
- Siklöja dominerade biomassan, och utgjorde 81% av den totala biomassan i öppet vatten.
- Sett till antal fiskar bestod det pelagiska fisksamhället i september till 72% av små bytesfiskar (<81 mm), huvudsakligen årsyngel av nors.
- Norsbeståndet har varit relativt stabilt en längre tid, och har haft god rekrytering under flera år. För 2021 noterar vi en ovanligt stark rekrytering i södra Vättern, ett område som ofta har lägre antal unga norsar än de övriga områdena i Vättern som vi undersöker.
- Beståndet av storspigg minskar i mellersta-norra Vättern. Vi noterar dock att metodiken inte är utvecklad för övervakning av storspigg men genomförs på ett likartat sätt varje år.



Figur 1: Karta över de hydroakustiska transekter som kördes 2021 i SLUs årliga underökningar i Vättern. MN = Mellersta Norra, MS = Mellersta Södra, N = Norra och S = Södra.

Det pelagiska fisksamhället

Vättern är djup med mestadels branta stränder, små skärgårdsområden och bara mindre till och avrinnande vatten. Vattnets uppehållstid i Vättern är omkring 60 år. Detta medför att det öppna vattnet - pelagialen - dominerar sjöns biologiska produktion. Om man undantar det nu ekonomiskt dominerande fisket på signalkräfta är det huvudsakliga fisket på pelagiala arter såsom siklöja, sik, röding och utplanterad lax. Med pelagiska fiskar avses de som huvudsakligen uppehåller sig och jagar föda i öppet vatten. Till dessa räknas även nors, storspigg och till viss del även öring. Arter som gers, hornsimpa, lake och abborre är mer knutna till botten. Nors, siklöja och storspigg är viktiga bytesfiskar för rovfiskarna i sjön. Andra viktiga födoresurser för flera fiskarter, bland annat ung röding, sik och lake, är vitmärta (*Monoporeia affinis*) och pungräka (*Mysis relicta*), två arter som lever av vad som produceras eller har producerats pelagiskt. Vitmärklar lever botten nära och i sedimentet på stora djup medan pungräkor säsongvis, nattetid i skydd av mörkret, företar födovandringar från botten högt upp i vattenmassan för att konsumera växt- och djurplankton, samtidigt som de också är en födoresurs för fisk. Riktade undersökningar för att utveckla metodiken att kvantifiera pungräkor och

stora djurplankton genomfördes i Vättern 2007 och 2011 (Vätternvårdsförbundets rapporter nr. 99 och 115; Axenrot m fl., 2009; Ragnarsson Stabo m fl., 2014). Resultaten visade att biomassan av dessa djurgrupper kan vara lika stor som mängden fisk.

Övervakningsmetod

De pelagiska fiskbestånden i Vättern övervakas årligen med provtrålning kombinerat med ekolodning, med stöd från Havs- och vattenmyndigheten och Vätternvårdsförbundet. Övervakningen utgör även en del av det nationella miljöövervakningsprogrammet. Undersökningarna påbörjades 1988 och har genomförts årligen sedan 1992. Undersökningarna utförs med ett vetenskapligt ekolod som samlar in hydroakustiska data längs 14 transekter tvärs över sjön (figur 1).

Från 2006 används ett nytt 120 kHz ekolod som kompletterades 2011 med ett 38 kHz ekolod (Simrad EK60 med ES120 7C och ES38B). Kombination av frekvenser (s.k. multifrekvens) förbättrar precisionen i fiskundersökningarna och ger möjlighet att studera andra organismer i ekosystemet, som t ex. pungträkor och djurplankton (Axenrot m fl. 2009, Ragnarsson Stabo m fl. 2014).

Hydroakustiska data kompletteras med provtrålningar av pelagialen som utförs på olika djup i de fyra delar av sjön som undersöks. Trålningen ger information om art- och storlekssammansättning i de undersökta fiskbestånden. Provtrålningarna genomförs nattetid i september och är avsedda att fånga de vanligast förekommande fiskarna i öppet vatten. Fiskar som t.ex. fångar byten med hjälp av synen blir därför underrepresenterade vilket ger sämre precision i beståndsskattningen. Årsyngel kan bli överrepresenterade vid denna tid på året, men används i huvudsak som ett relativt mått på rekryteringsframgång.

Från 2008 används forskningsfartyget U/F Asterix. Fortlöpande utveckling av tolkningen av hydroakustiska data sker genom kunskapsutbyte med forskare i Europa, Nordamerika och Internationella Havsforskningsrådet (ICES) samt i olika projekt. Undersökningarna följer den europeiska standarden för beståndsskattning av fisk med ekolodning i sötvatten (CEN, 2014).

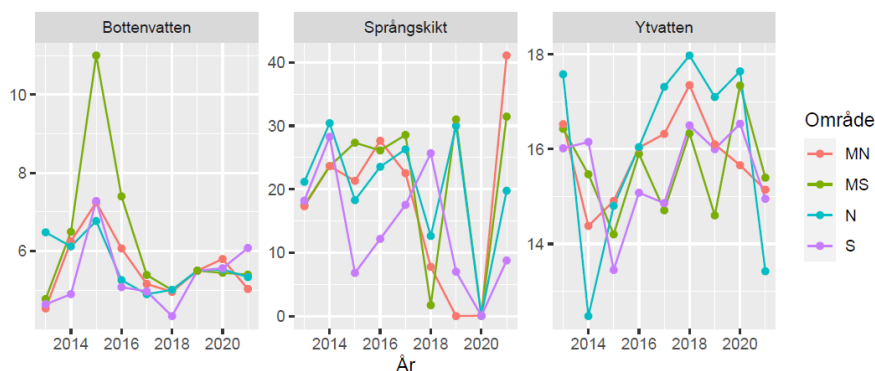
Hydroakustiska data extraherades och analyserades med mjukvaran Sonar5 (Balk & Lindem, Balk et al.). Ekoloden var kalibrerad i enlighet med Foote et al. (1987) och rekommendationer av tillverkaren (Simrad A/S). Akustiska detektioner som var mindre än 50 cm från botten exkluderades för att utesluta eventuella störningar från bottenekon. Akustiska ekon som var < 5 meter under ytan exkluderades på grund av givarens position (djup 1,3 m) och teknisk närgräns. Distansen av de undersökta områdena var 64km i Mellersta Norra ("MN"), 69,4km i Mellersta Södra ("MS"), 11,8km i Norra ("N") och 23,5km i Södra (figur 1).

För att kunna relatera detekterade ekon till de förekommande fiskarterna, togs tre tråldrag vardera för de undersökta områdena. I de fyra områdena, låg tråldjupen för MN på 5, 16 och 18m, för MS på 5, 19 och 25m, för N på 5, 10 och 20m och för S på 5, 15 och 21m. Djupangivelserna avser övertern och trålen öppnar ca 5 m vertikalt. Transekterna delades in i deltransekter med en längd av 1000-1500 meter för att få statistiskt oberoende replikat, samt 5 meterslager för den vertikala upplösningen och för att härleda detektionernas djup och avstånd till botten. Deltransekter som hade exceptionellt höga fisktätheter (dvs. deltransekter vars fisktäthet låg mer än 3 standardavvikelser ifrån medelvärdet, vilket motsvarar 0,3% av datamängden) exkluderades från analysen eftersom de inte kan ses som representativa för medelfisktätheterna i sjön.

STATISTISK ANALYS

De hydroakustiska detektionerna passades till ett klassificeringsträd där sannolikheten för att en enskild fisk tillhörde en specifik art modellerades som beroende på fisklängd, djup, avstånd till botten, område, fångstår samt position relativt språngskiktet (om fisken befann sig under språngskiktet). Arter som var representerade med mindre än 25 individer (av de totala trålfångsterna mellan 2013-2021) filtrerades bort före analys. Åren 2013-2021 analyserades parallellt med en identisk statistisk metod för att undvika metodrelaterade avvikelser i tidsserien. De statistiska jämförelserna testade skillnader i medelvärde mellan de två senaste åren (2020 och 2021) mot medelvärdet för de fem föregående åren (2015-2019, se tabell 1). I dessa modeller inkluderades parametern år som en slumpmässig variabel, och modellerna blir därför inte väl anpassade för arter med en starkt cyklisk förekomst (som t ex. årsungar av siklöja). Detta beroende på att sällsynt förekommande ökningar kan partitioneras statistiskt på den slumpmässiga effekten av år. För siklöja rekommenderar vi därför visuell tolkning av graferna.

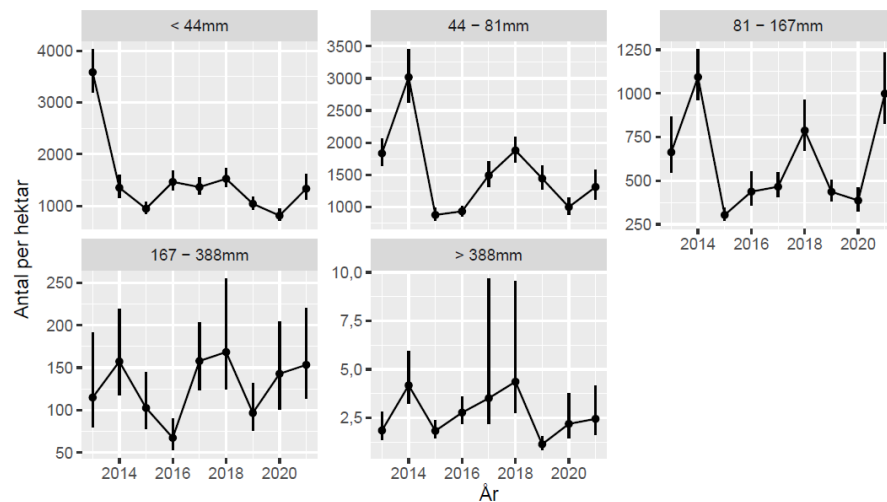
MILJÖFÖRHÅLLANDEN.



Figur 2: Temperatur i yt- och bottenvatten (C), samt språngskiktets djup i meter för de fyra undersökta områdena. När språngskiktet saknas, anges det som 0 i grafen.

De transekter vi undersöker skiljer sig åt i djup (MN: maxdjup = 108,7m, medeldjup = 54,5m, MS: maxdjup = 100,6m, medeldjup = 57,3m, N: maxdjup = 87,3m, medeldjup = 55,4m, S: maxdjup = 111,1m, medeldjup = 80,2m). Djupen i Vättern är dock tillräckligt stora för att djupskillnaderna inte bidrar till större skillnader mellan områden i de limniska miljöförhållandena eller i temperatur i bottenvattnet (figur 2). För år 2021 låg språngskiktet i område Vättern MN ovanligt djupt, men för övrigt var år 2021 ett ganska genomsnittligt år med avseende på temperaturförhållandena i yt- och bottenvatten, samt för språngskiktets djup. Notera att insamlandet av temperaturdatat inte är lika standardiserat som de hydroakustiska transekterna (temperaturer mäts ofta enbart vid ett tillfälle per område, och vid olika djup). Enskilda avvikande observationer är därför svåra att tolka.

Övergripande resultat



Figur 3: Antal per hektar (oavsett art) per år (2013-2021) för fem olika storleksklasser, <44mm, 44 - 81mm, 81 - 167mm, 167 - 388mm och > 388mm. Värdena är medelvärden för Vättern med 95% konfidensintervall, skattade med bootstrap.

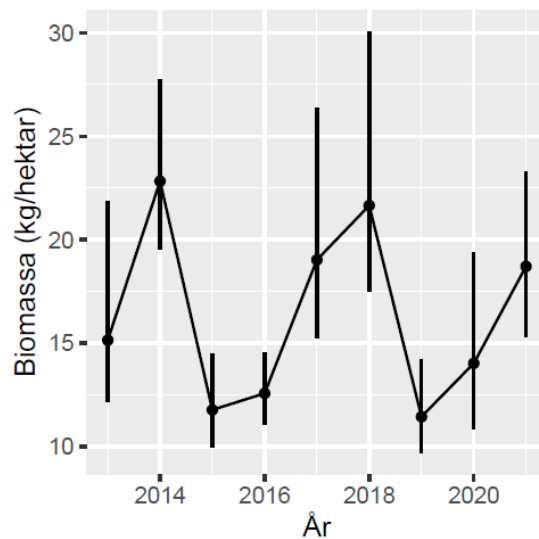
Den totala fisktätheten i öppet vatten (pelagialen) 2021 var 3799 fiskar per hektar vilket var över medelvärdet för de senaste 5 åren (3057). De flesta storleksklasserna varierade över år utan generella trender. Den större delen av ökningen i antalet fiskar per hektar för 2021 bestod av fiskar i intervallet 81mm - 167mm (figur 3). Biomassa per hektar är starkt kopplat till antalet större fiskar som fångas vid trålningen (såsom sik, röding och siklöja) och som senare kan detekteras i hydroakustiska data (figur 3 och 4). Den beräknade totala biomassan kan därför variera betydande mellan åren. För 2021 noterades 18,7 kg per hektar, dvs. en liten ökning jämfört med medelvärdet för de fem tidigare åren (2015 - 2020: 15,1). Ökningen 2021 berodde främst på en större mängd siklöja. Andelen småfisk (<81 mm) som hornsimpa, storspigg och årsyngel av nors var fortsatt hög (ca 72%), dvs. till antal bestod beståndet vid undersökningen (september) till största delen av små bytesfiskar.

Tabell 1: Populationsutvecklingen för de arter som vi detekterar i den årliga hydroakustiska underökning i Vättern. Resultaten ges nedbrutet på område och art (eller art- ålderskombination). M.p är medelvärdet för antal per hektar för de senaste två åren (2020 och 2021), M.r är motsvarande medelvärde för de föregående fem åren (2015-2019), Förändring % är förändringen i procent mellan studieperioden och referensperioden (studieperiod - referensperiod / referensperiod). Negativa värden indikerar därmed en minskning i procent, medan positiva värden indikerar en ökning i procent. Skillnaden i medelvärden testades med en modell mot en Chisquare-fördelning (Chisq), och ges med det resulterande P-värdet. Kolumnen Förändring visar en kodad populationsförändring. Signifikanta ($p < 0,05$) ökning och minskning visas som + och -. Marginellt ickesignifikanta ($p < 0,1$) populationsförändringar visas som (+) och (-). De fall där ingen förändring kan påvisas visas ej.

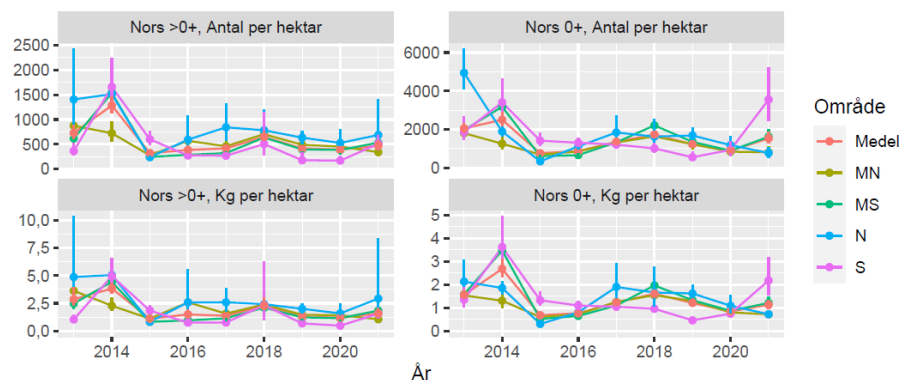
Område	Art	M.p	M.r	Förändring %	Chisq	P-värde	Förändring
MN	Nors >0+	401	531	-24	1,1	0,303	
	Nors 0+	824	1157	-29	1,6	0,207	
	Sik	9	41	-78	2,5	0,113	
	Siklöja >0+	245	191	28	0,9	0,339	
	Siklöja 0+	334	12	2683	4,1	0,043	+
	Storspigg	871	1413	-38	7,4	0,006	-
MS	Nors >0+	459	569	-19	0,1	0,765	
	Nors 0+	1250	1548	-19	0,2	0,692	
	Sik	44	51	-14	0,1	0,730	
	Siklöja >0+	371	254	46	0,8	0,370	
	Siklöja 0+	135	22	514	2,5	0,116	
	Storspigg	940	1394	-33	1,5	0,221	
N	Hornsimpa	9	4	125	0,7	0,419	
	Nors >0+	602	740	-19	0,2	0,633	
	Nors 0+	993	1400	-29	0,7	0,390	
	Sik	17	85	-80	2,1	0,149	
	Siklöja >0+	264	321	-18	0,1	0,719	
	Siklöja 0+	260	17	1429	3,5	0,062	(+)
	Storspigg	373	1726	-78	1,0	0,325	
S	Hornsimpa	4	6	-33	0,1	0,707	
	Nors >0+	336	573	-41	0,3	0,566	
	Nors 0+	2220	1469	51	0,6	0,428	
	Sik	2	16	-88	3,8	0,050	(-)
	Siklöja >0+	8	55	-85	1,0	0,321	
	Storspigg	1295	1098	18	0,4	0,528	

NORS

Nors är en eftertraktad bytesfisk och flertalet blir inte så långlivade. Mängden nors varier över år och stora avvikelser från medelvärdet förekommer framför allt vid enstaka år med höga tätheter och kan då oftast förklaras med ovanligt god rekrytering, dvs. stora mängder årsyngel. Andelen årsyngel av nors varierar i trålfångsterna mellan sjöns olika delar och har som regel varit högre i de mellersta och norra delarna. En förklaring kan vara att förutsättningarna för tillväxt är mindre gynnsamma i den södra delen med färre grundområden och öar samt mindre näringsrikt och ofta kallare vatten. För 2021 fortsatte nors att vara den till antal vanligaste fisken i öppet vatten med 1997 individer per hektar vilket motsvarade 53% av det totala antalet fiskar per hektar, och 15% av den totala biomassan per hektar. Av antalet nors var 77% årsungar (0+), (figur 5, tabell 1).

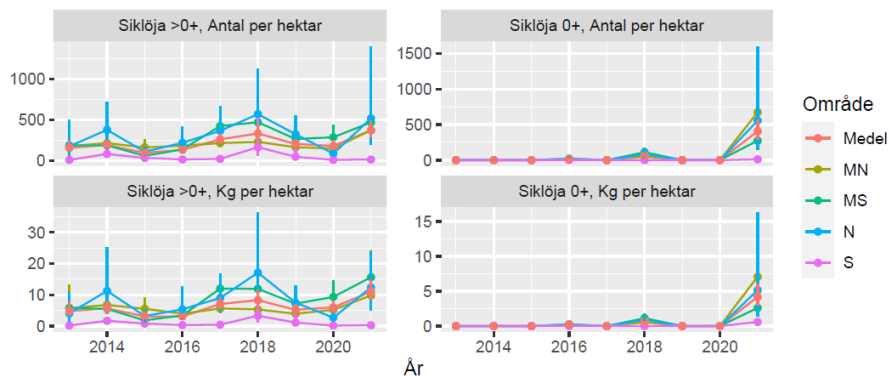


Figur 4: Biomassa (kg) per hektar per år (2013-2021). Värdena är medelvärden för Vättern med 95%konfidensintervall, skattade med bootstrap.



Figur 5: Antal och biomassa av nors, årsyngel (0+) och 1-årig och äldre (>0+) mellan 2013-2021 i de fyra områden vi undersöker, samt medelvärdet för Vättern. Felstaplarna representerar 95% konfidensintervall (beräknade med bootstrap), och punkterna representerar medelvärden.

Nors har haft måttlig till god årlig rekrytering under en längre tid, och beståndet av äldre nors (>0+) har varit relativt stabilt sedan 2015 (figur 5 och tabell 1). Rekryteringen av nors (0+) har varit relativt stabil sedan 2015, och är generellt starkast i norra Vättern. För 2021 noterar vi ett ovanligt högt antal årsungar (0+) av nors i södra Vättern (figur 5).



Figur 6: Antal och biomassa av äldre (>0+) och 1-årig och äldre (0+) av siklöja mellan 2013-2021 i de fyra områden vi undersöker, samt medelvärdet för Vättern. Felstaplarna representerar 95% konfidensintervall (beräknade med bootstrap), och punkterna representerar medelvärden.

SIKLÖJA

Siklöjan förekom 2021 med 776 individer per hektar vilket motsvarade 20% av det totala antalet fiskar, och 81% av den totala biomassan per hektar. Av antalet siklöja var 52% var årsungar (0+), (figur 6, tabell 1). Siklöjan växer mycket snabbt som ung och enstaka individer kan vara 16 cm redan i september under sitt första levnadsår (medel 14 cm), vilket gör att en ökning i antalet siklöjor snabbt leder till en större mängd biomassa. Siklöjan placerar sig därför som den dominerande arten för biomassa i Vätterns pelagial, och den tredje vanligaste fiskarten till antalet.

Efter flera svaga år ökade beståndet av siklöja (>0+) 2013, och har därefter varit relativt stabilt (figur 6, tabell 1). En ökning noterades för 2018 tillsammans med en stark rekrytering. Beståndet minskade därefter under 2019-2020, i kombination med mycket låg rekrytering (figur 6, tabell 1). För 2021 noteras en ny stark årsklass siklöja 0+. Att rekryteringen sker i cykler har tidigare noterats för siklöja. Så minskade t.ex. den starka årsklassen 2004 under några år och beståndet var slutligen mycket svagt 2008-2012 med bara enstaka siklöjor per hektar till dess en ny stark årsklass uppkom. Siklöja tenderar till att vara mer vanligt förekommande i norra Vättern. Söder om Visingsö noterades få siklöjor (>0+) 2013 - 2017. För 2018 noterades siklöja i relativt stor mängd från alla delar av Vättern vilket kanske kunde förklaras av att beståndet var större än på mycket länge och siklöjorna därför spreds över större områden. År 2019 noterades mest siklöja i höjd med Norrgrundet och i norra Vättern. År 2020 var siklöjan mest förekommande norr om Visingsö. Andelen unga

siklöjor (0+) varierar också mellan olika områden över åren. År 2021 var 1-årig och äldre siklöja relativt vanligt förekommande i samtliga områden, bortsett ifrån området söder om Visingsö.

REKRYTERING

Det totala beståndet av siklöja har uppvisat stor variation över åren vilket berott på uppkomsten av starka årsklasser enstaka år. Dessa har oftast uppstått med flera års mellanrum med minskande bestånd under mellanliggande år och ett allt svagare bestånd ifall en ny stark rekrytering dröjer. Siklöjan leker på senhösten med kläckning av ynglen på våren medan norsens lek och kläckning av yngel sker på våren. Detta innebär att förutsättningarna på våren kan se olika ut för de två arternas yngel. Det är av största vikt för de nykläckta årsynglen att produktionen av lämpliga födoorganismer sker i rätt tid, vilket i sin tur beror på väder-och klimatförhållandena.

Siklöja är vår mest utpräglade djurplanktonätare och en av få fiskarter där alla åldersklasser och storlekar äter samma föda. Detta medför att siklöjan konkurrerar starkt om födan med sina egna artfränder oavsett ålder eller storlek. Det är känt att en stark årsklass kan hålla tillbaka föryngningen under flera år och att en ny stark årsklass uppstår först när den gamla starka årsklassen tunnats ut. Så utgjorde t.ex. den starka årsklassen 1992 fortfarande 1998-99 60 % av antalet vuxna siklöjor och en ny stark årsklass uppstod först år 2000 då den nya årsklassen utgjorde 87 % av alla siklöjor.

År 2012 fångades inga årsyngel av siklöja alls, men åren 2009-2011 fångades dessa nästan uteslutande i den norra delen av sjön. År 2013 fångades en stor del av årsynglen i den södra halvan av Vättern och 2014, 2015 och 2020 saknades årsyngel av siklöja i stort sett helt i hela Vättern. År 2016 noterades en ny, måttlig rekrytering som var starkast i den nordligaste delen av sjön, norr om Motalaviken. Söder om Visingsö fångades inga årsyngel av siklöja 2016. År 2017, 2019 och 2020 var det mycket låga antal av årsyngel av siklöja, men för 2018 hade en stark årsklass noterats med årsyngel över hela sjön och för 2021 med större förekomst av årsyngel främst i den norra halvan av Vättern. Riktigt starka årsklasser har bara uppstått 1992, 2000, 2004, 2018, samt 2021. Måttligt goda årsklasser noterades för 2013 och 2016.

Klimatfaktorerers inverkan på uppkomsten av starka årsklasser hos siklöja har studerats (Nyberg m fl., 2001; Sandström m fl., 2014), men för siklöjan i Vättern kunde inga samband fastställas. Axenrot och Degerman (2016) har visat på ett möjligt samband där enskilda siklöjors kondition påverkas av tidigare lekar och födokonkurrens. Under perioder då siklöjorna hade låg konditionsfaktor uppstod inga nya starka årsklasser i Vättern. Först när den individuella fiskens kondition byggts upp över tid och den kunde lägga energiresurser på rom/mjölke, kunde andra faktorer – som t.ex. klimat – påverka uppkomsten av en ny stark årsklass. Att återta

god kondition och bli lekmogen kan antas ta lång tid i en näringsfattig och lågproduktiv sjö som Vättern där siklöjan därtill måste konkurrera med artfränder, ung nors, storspigg och pungräkor om samma födore-surs (djurplankton).

ÖVRIGA ARTER

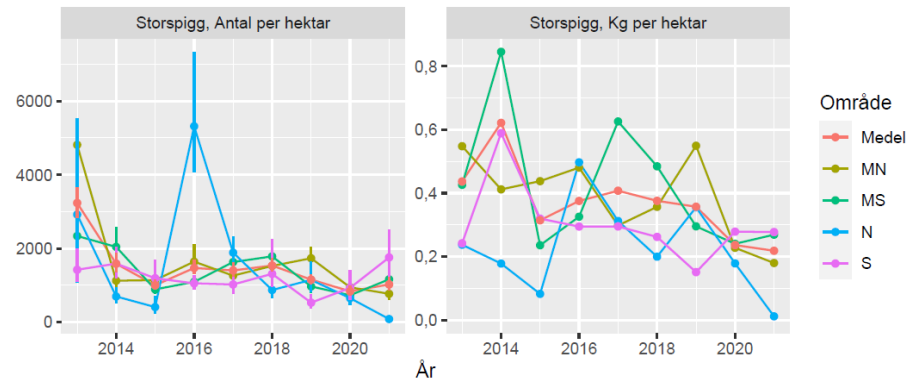
Utöver nors och siklöja kunde vi 2021 även skatta bestånden av stor-spigg, hornsimpa, och sik med kombina-tionen av provtrålningar och hydroakustik. För dessa arter, och även andra arter som tillfälligtvis fångas i provtrålningarna (såsom röding och lake), är skattningarna mycket känsliga för fångstfrekvensen i provtrål-ningarna. Större rovfiskar som jagar med hjälp av synen riskerar att bli underrepresenterade vid de nattliga undersökningarna. Dessa fiskar har även lätt att simma undan vid trålning. De förekommer i betydligt färre antal än t.ex. deras bytesfiskar vilket minskar sannolikheten att fångas vid de relativt korta provtråldra-gen.

Osäkerheter i fångsten förändrar den beräknade artsammansättningen och beståndsskattningen av dessa fiskar blir därför mer osäker. Enstaka arter fångas inte alls, som t.ex. gädda. Antal ekon per hektar som repre-senterar en fiskstorlek av ~40 cm eller större varit relativt stabil de senaste två åren (2020 och 2021), men var betydligt högre 2014, 2017 och 2018. Dessa ekon representerar i Vättern antingen gädda, lake, lax, sik el-ler röding, men det är mycket svårt att härleda vilken art dessa ekon re-presenterar eftersom slumpartad fångst av enstaka individer enskilda år förändrar sannolikheterna i allt för hög grad. I fallet med storspigg, före-kommer denna i stor utsträckning nära ytan. Eftersom hydroakustiken blir mer effektiv på större djup, är metoden inte väl utvecklad för stor-spigg. Skattningarna för dessa övriga arter bör därför tolkas försiktigt.

STORSPIGG

Storspiggen är en vanligt förekommande art i Vättern och 2021 skattades antalet storspigg till 1023 individer per hektar vilket motsvarade 27% av det totala antalet fiskar, och 1,17% av den totala vikten per hektar. Stor-spigg är därför efter nors den till näst vanligaste fisken i öppet vatten, men har minskat något i våra undersökningar (figur 7). Arten uppehåller sig ofta nära ytan vilket gör att en stor del av individerna sannolikt inte registreras vid ekolodning då givaren/svängaren sitter monterad under båten (U/F Asterix) på 1,5 m djup och har en teknisk närgräns på ca 1,5 m (sammanlagt 3 m). Det mest ytliga tråldraget sker normalt på ca 5-10 m för att komplettera data från ekolodningen. Helt ytliga tråldrag (0-5 m) har genomförts för att ge en uppfattning om mängden storspigg. I dessa tråldrag utgjorde storspigg >80 % i gruppen liten fisk (<80 mm). I övrigt ingick årsyngel av nors. Nuvarande metodik är således inte anpassad för att få ett bra mått på mängden storspigg varför beräkningarna bör tolkas försiktigt. Metodiken utförs dock på samma sätt varje år varför resultaten

för storspigg möjligen kan ge en indikation om förändringar i beståndet, vilken varit minskande på senare tid (figur 7). Med tanke på storspiggens talrika förekomst och sannolikt stora betydelse som bytesfisk finns det behov av att utveckla metoder för bättre skattning av storspiggsbeståndet.



Figur 7: Antal och biomassa av storspigg mellan 2013-2021 i de fyra områden vi undersöker. Felstaplarna representerar 95% konfidensintervall (beräknade med bootstrap), och punkterna representerar medelvärden.

SIK

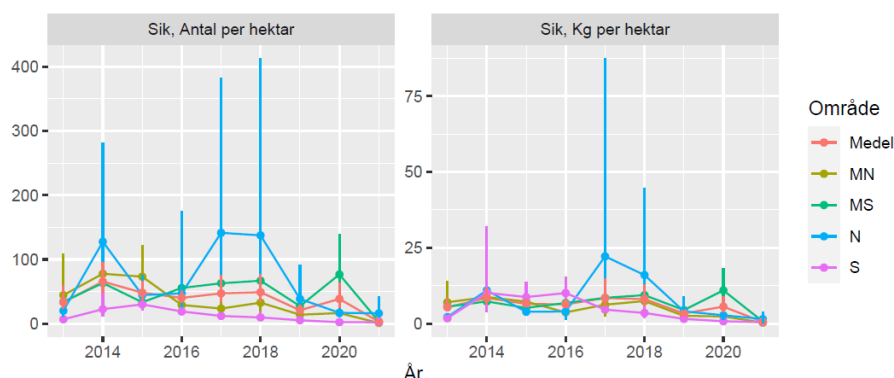
För sik har resultaten från hydroakustik/trålning har visat stor variation mellan åren men visade 2014, 2017 och 2018 relativt stora antal sikar per hektar (figur 8), som bröts 2019. Sannolikt rör det sig om variation mellan år snarare än en minskning av sikbeståndet. Provfisken efter röding och sik i Vättern, har visat på att sik är den till biomassan vanligaste arten på djup större än 15 meter, och visar inga tydliga nedgångar i antalet sikar.

Diskussion

FISKTÄTHET OCH BIOMASSA

Mängden fisk kan beräknas som antalet fiskar eller som biomassan av fisk. Båda måtten ger information som behövs för att bedöma beståndstatus och rekrytering för enskilda arter och för ekosystemet i sin helhet. Mindre fiskar, som t. ex nors, finns i allmänhet i stort antal. Hydroakustiska data och trålprover ger därför oftast en god bild av sådana fiskbestånd – med avseende på antal, storleksfördelning, vikt med mera. Större fiskar är betydligt mindre vanliga, ofta mer rörliga och fångas därför mer sällan. Därtill varierar artspecifik fångstbarhet vid trålningen och ekostyrka (dvs. styrkan i det ljud som reflekteras från fisken tillbaka till ekolodet). Därför innehåller resultat på fisktäthet och biomassa för dessa större fiskar större mått av osäkerhet, särskilt med avseende på biomassa då en stor fisk väger lika mycket som tusentals årsyngel. Denna osäkerhet

är sannolikt en viktig orsak till att den beräknade genomsnittliga fiskbiomassan i öppet vatten i Vättern varierat över åren.



Figur 8: Antal och biomassa av sik mellan 2013-2021 i de fyra områden vi undersöker. Felstap-larna representerar 95% konfidensintervall (beräknade med bootstrap), och punkterna representerar medelvärden.

FÖDOTILLGÅNG

Djurplankton – basföda för siklöja, ung nors och storspigg – har visat låga mängder under de senaste åren samt omfördelats mellan arter och mot mindre storlekar. Artsammansättningen indikerar näringsfattiga förhållanden (se tidigare Årsskrifter). Vättern har blivit alltmer näringsfattig (oligotrof) på grund av förbättrad rening av avloppsvatten och gödslings-teknik i jordbruket. Halterna av näringsämnen har dock varit låga under lång tid. Stor konkurrens om begränsade födoresurser kan påverka fis-karnas kondition negativt och kan även minska såväl antalet lekar under en livstid som lekframgången vid det enskilda lektillfället, dvs. antalet yngel som produceras och överlever.

KLIMAT

Klimatförändringar kan påverka bl.a. lekframgången, t.ex. om ynglens kläckning och tillväxt inte matchar tillgången på lämpliga djurplankton, men även tillväxt. Det verkar inte föreligga något enkelt samband i Vät-tern mellan klimat och lek-framgång utan fler faktorer har betydelse och kan samverka (Sandström m.fl. 2014; Axenrot och Degerman, 2016). Det är möjligt att Vätterns form och djupa vatten i viss grad buffrar mot förändrat klimat.

BESTÅNDSUTVECKLING

Bestånden (>0+) av bytesfiskarna nors och siklöja minskade under flera år fram till 2013.

I siklöjans fall kan vi anta att det behövdes 3-4 år efter den starka årsklas-sen 2004 för att återfå kondition och bli lekmogen och/eller att nya

individer från den starka årsklassen (2004) vuxit upp och blivit köns-mogna (2-3 års ålder; Axenrot och Degerman, 2016). En mindre stark årsklass noterades 2009, en något starkare 2013, en god årsklass 2016 samt mycket starka årsklasser 2018. År 2019 och 2020 fångades mycket få årsyngel, varför årsklasserna från dessa år bedöms varit mycket svaga (figur 6). År 2021 var rekryteringen av siklöja mycket god.

Nors hade normal till god rekrytering under 2008-12, men trots detta minskade beståndet av äldre fiskar (>0+) fram till 2013 och på nytt 2015 (figur 5). Åren 2013-2021 har rekryteringen varit god/mycket god och beståndsstorleken är kring medianvärdet jämfört med en referensperiod (tabell 1).

Under motsvarande tid har olika undersökningar i Vättern visat att de naturliga bestånden av rovfisk – röding, öring, storsvuxen sik, lake – haft en gynnsam utveckling (se avsnitt om fisk och fångster). Därutöver finns tillstånd att sätta ut 20 000 laxsmolt årligen (<https://www.sportfiskarna.se/Om-oss/Aktuellt/ArticleID/7517>). Studier av fritidsfisket omfattning har visat att det nu fångas mer röding än lax i sportfisket och att röding var mer eftertraktad som målart (Sundblad m fl., 2019).

En faktor i sammanhanget som behöver undersökas bättre är beståndet av bytesfisken storspigg som eventuellt minskar (figur 7). Storspigg nyttjas som föda av såväl lax som röding.

FÖRVALTNING

Till skillnad från det kommersiella fisket i havet förvaltas yrkesfisket i sötvatten nationellt, vilket innebär att förvaltningsmål och uppföljning beslutas av nationella myndigheter. Det pågår projekt som syftar till att utveckla lämpliga indikatorer, modeller och förvaltningsmål för uppföljning av nationellt förvaltade bestånd (Östman m fl., 2016).

Flera riktade förvaltningsinsatser i Vättern har haft positiva effekter för röding- och öringbestånden. Länsstyrelserna runt Vättern har framfört att kompensationsutsättningarna av lax inte får ske på bekostnad av de naturliga fiskbestånden varför beslut om storlek på utsättningarna ska väga in konkurrens om bytesfisk, dvs. framför allt bestånden av siklöja, nors och storspigg. Dessa bytesfiskar är ”motorn” i Vätterns ekosystem och det är viktigt att förvaltningen av fiskresurserna inkluderar dessa bestånd.

FRAMTIDSSCENARIO?

Vätterns naturligt låga näringsstatus och produktivitet har varit stabil under lång tid och kan förmodas förbli så lång tid framöver. Klimatet antas långsamt bli varmare vilket på lång sikt kommer att påverka sjöns ekosystem, från produktivitet till artsammansättning. En del av Vätterns naturligt förekommande fiskarter har över åren utsatts för olika typer av

påfrestningar från mänskliga aktiviteter, som t.ex. vandringshinder, yrkes-, husbehovs- och sportfiske.

Beståndsutvecklingen för nors och siklöja följs årligen och resultaten används och kan användas för att bedöma ekosystemets status, effekterna av riktade insatser, lämplig storlek på laxutsättningar samt för förvaltningen av fiskbestånd genom fiskeregler.

För bättre förståelse av dynamiken mellan bytes- och rovfiskar behöver övervakningsmetodiken förbättras med avseende på storspigg och analytiska metoder som kopplar ihop födovävarna behöver tas fram. Eftersom vår undersökning visar på ett eventuellt minskande antal av storspigg över flera år, vore det mycket värdefullt att snarast få en ökad förståelse av storspiggens beståndsutveckling i Vättern.

FÖRSLAG

ÖVERVAKNING AV STORSPIGG

Maginnehåll i såväl lax som röding från trålfångster i september har ofta visat sig bestå av storspigg. Storspigg är därför sannolikt en viktig bytesfisk för flertalet rovfiskar i Vättern. Kunskapen om beståndet av storspigg är emellertid bristfällig idag och kan inte med säkerhet relateras till minskande/ökande bestånd av annan bytesfisk som nors och siklöja. För att skatta storleken på beståndet av storspigg behöver nuvarande övervakningsmetodik modifieras och kompletteras. Ökade kunskaper om dynamiken i rovfiskarnas nyttjande av bytesfisk är avgörande för att öka förståelsen av Vätterns ekosystem, t.ex. som den aktuella ökningen av siklöjebeståndet under en period då även bestånd av rovfisk ökar. Vi föreslår att HaV bidrar till att nuvarande övervakningsmetodik utvecklas så att beståndet av storspigg kan ingå i skattning av bytesfisk.

TELEMETRI AV STÖRRE FISKARTER

Utveckling av fiskspårningstekniken akustisk telemetri har på senare år möjliggjort insamlandet av högup-plöst beteendedata på vild fisk över stora ytor. En infrastruktur har nyligen byggts upp i Vättern där tekniken används för att öka kunskapen om nyttjandegrad och beståndsstatus av röding. För att förbättra möjligheten att klassificera de större ekon som detekteras i våra hydroakustiska undersökningar vore det mycket värdefullt med beteendedata (djup- och spatialpreferenser under undersökningsperioden) hos de större arterna i Vätterns ekosystem (utöver röding: gädda, lake, lax och sik). Om beteendedata finns tillgängligt ökar möjligheterna att klassificera ekon till rätt arttillhörighet, i fall att arterna skiljer sig tillräckligt i dessa beteendeegenskaper. Vi föreslår att HaV bidrar till att den telemetriska studien utökas till ett flertal av dessa arter.

Erkännanden

Vi tackar Göran Sundblad (SLU Aqua) för kommentarer på rapporten.

Referenser

Axenrot, T., and Degerman, E. 2016. Year-class strength, fitness and recruitment cycles in vendace (*Coregonus albula*). *Fisheries Research* 173: 61-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.03.017>

Axenrot, T., Ogonowski, M., Sandström, A., and Didrikas, T. 2009. Multifrequency discrimination of fish and mysids. – *ICES Journal of Marine Science*, 66: 1106–1110.

[CEN] Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization). 2014. Water quality – Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods. EN 15910.

Nyberg, P. Degerman, E., Bergstrand E., and Enderlein, O. 2001. Recruitment of pelagic fish in an unstable climate: studies in Sweden's four largest lakes. *AMBIO* 30(8), 559-564.

Rapport nr 99. 2009. Bedömning av pelagiska fiskbestånd i Årsskrift 2008. Vättern-vårdsförbundets rapportserie. ISSN 1102-3791.

Rapport nr 115. 2012. Glacialrelikter och makrozooplankton. I Vänern och Vättern 2011. Vätternvårdsförbundets rapportserie. ISSN 1102-3791.

Ragnarsson Stabo, H., Vrede, T., Axenrot, T., and Sandström, A. 2014. Large zooplankton in Swedish large lakes. *Aquatic Ecosystem Health and Security*, 17(4): 374-381.

Sandström, A., Ragnarsson Stabo, H., Axenrot, T., and Bergstrand, E. 2014. Has climate variability driven the trends and dynamics in recruitment of pelagic fish species in Swedish Lakes Vänern and Vättern in recent decades? *Aquatic Ecosystem Health and Security*, 17(4): 349-356.

Sundblad, G., Larsson, S., Wennerström, L., Linderfalk, R. och Halldén, A. 2019. Fri-tidsfiskets omfattning i Vättern 2017. Fångster av röding, lax och öring. Aqua reports 2019:7. SLU, Department of Aquatic Resources. ISBN: 978-91-576-9652-6.

Östman, Ö., Beier, U., Ragnarsson Stabo, H., Olsson, J., Svedäng, H., Sundelöf, A., Sandström, A. och Florin, A-B. 2016. Förvaltningsmål för nationellt förvaldade fiskbestånd. Aqua reports 2016:10. SLU, Department of Aquatic Resources. ISBN: 978-91-576-9410-2.

Lekfiskräkningen av harr i Vätterns tillflöden våren 2022

Niklas Nilsson, Jönköpings Fiskeribiologi AB

Sammanfattning

Inventeringen av antalet lekande harrar i Vätterns tillflöden har pågått i drygt 25 år. Så skedde även våren 2022 då sammanlagt 15 vattendrag och Visingsö hamn besöktes av volontärer. Lekande harr observerades i 10 av dessa vattendrag, samt i Visingsö hamn. Resultaten indikerar att antalet lekande harrar i Vätterns tillflöden alltjämt befinner sig på en låg, men förhållandevis stabil nivå. Vissa positiva förändringar jämfört med föregående år (2021) kunde även noteras i enskilda vattendrag. Föreliggande sammanställning av resultaten har utförts av Jönköpings Fiskeribiologi AB på uppdrag av Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Inledning

Räkning av lekande harr i Vätterns tillflöden har pågått sedan 1997 som en del i den regionala miljöövervakningen av Vättern. Mellan åren 1997 och 2004 utfördes detta av Fiskeriverkets utredningskontor i Jönköping på uppdrag av Vätternvårdsförbundet och under dessa år följdes två vattendrag, Röttleån cirka 5 km söder om Gränna på Vätterns östra sida respektive Hornån cirka 10 km norr om Habo på den västra sidan. Sedan våren 2005 pågår ett extensivt kontrollprogram där ett större antal vattendrag besöks årligen. Inför lekfiskräkningen våren 2019 genomfördes vissa förändringar avseende metodiken i syfte att erhålla mer jämförbara resultat från år till år, bland annat delas vissa vattendrag upp i tydligt avgränsade delsträckor. För att underlätta arbetet möjliggjordes även rapportering via smartphone. Detta upplägg har tillämpats sedan dess (2019-2021). Övervakningen genomförs av frivilliga personer på ideell basis under ledning av Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Metod

Föreliggande sammanställning är baserad på uppgifter rapporterade till Länsstyrelsen i Jönköpings län till och med 2021-05-30. Totalt besöktes 15 vattendrag och Visingsö hamn samband med harrens lek våren 2022 (Tabell 1 och Figur 1) och sammanlagt genomfördes 186 besök. Vissa vattendrag besöktes emellertid mer frekvent till följd av uppdelningen i flera delsträckor (totalt upprättades 339 separata besöksprotokoll). Både antalet besökta vattendrag och genomförda besök/upprättade protokoll minskade något 2022 jämfört med 2021. Årets inventering genomfördes

av 22 personer (25 personer deltog 2021) under perioden 26:e mars – 25:e maj.

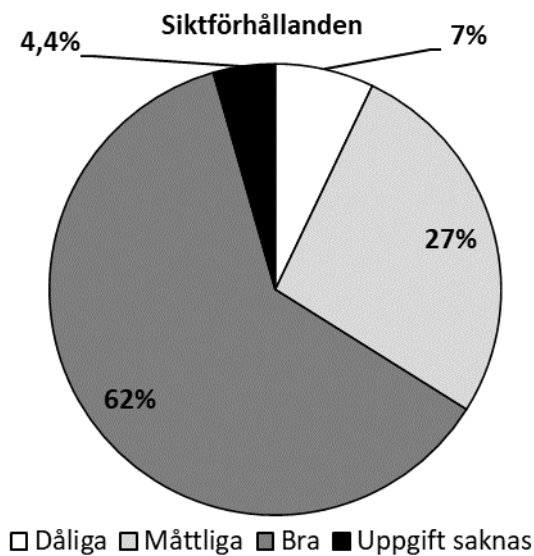
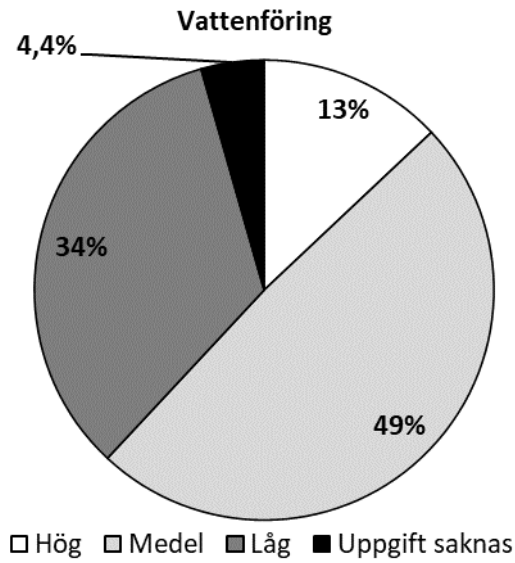
Tabell 1. Redovisning av de vattendrag som besöktes i samband med harrens lek våren 2022.

Vattendrag	Datum första besöket	Datum sista besöket	Antal besök	Antal protokoll
Almnäsbäcken	12-apr-22	12-apr-22	1	1
Dunkehallaån	27-mar-22	02-maj-22	21	44
Gagnån	02-apr-22	12-maj-22	10	10
Granviksån	30-mar-22	25-maj-22	10	10
Hjoån	01-apr-22	23-apr-22	14	52
Hornån	26-mar-22	06-maj-22	12	32
Hökesån	01-apr-22	14-maj-22	16	19
Knipån	12-apr-22	03-maj-22	5	5
Kärsbyån	14-apr-22	17-maj-22	22	40
Lillån-Huskvarna	05-apr-22	20-maj-22	25	25
Rödån	05-maj-22	11-maj-22	2	4
Röttleån	20-apr-22	22-maj-22	26	66
Sjöhamrabäcken	18-apr-22	25-maj-22	13	13
Tabergsån	19-apr-22	19-apr-22	1	1
Visingsö hamn	15-maj-22	22-maj-22	3	3
Ålebäcken	17-apr-22	08-maj-22	5	14



Figur 1. De Vätterbäckar och Visingsö hamn som besöktes i samband med harrens lek våren 2022.

I samband med lekfiskräkningen våren 2022 bedömdes vattenföringen i vattendragen mestadels vara normal till låg för årstiden, medan siktförhållandena mestadels bedömdes vara bra (Figur 2). Majoriteten av besöken (87 %) påbörjades efter klockan 12 på dagen, varav cirka 40 % påbörjades efter klockan 16 på eftermiddagen.



Figur 2. Redovisning av de subjektiva bedömningarna av vattenföringen (överst) respektive siktförhållandena (nederst) i samband med lekfiskräkningen våren 2022 (totalt antal protokoll=339).

Resultat & kommentarer

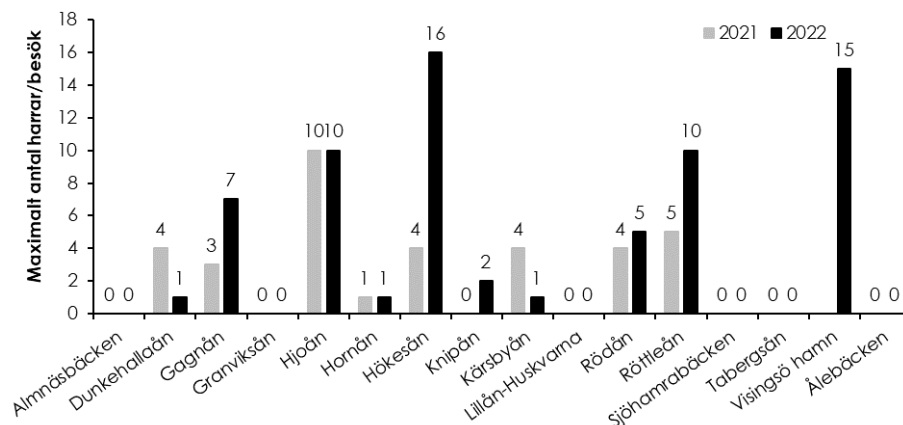
Den första observationen av harr våren 2022 skedde precis som tidigare år i Hjoån och skedde den 14:e april, vilket var förhållandevis sent jämfört med de närmast föregående åren (Tabell 2). Den första harren som observerades i övriga vattendrag var i Hökesån, vilket skedde den 20:e april. Den sista harrobservationen våren 2022 skedde den 16:e maj i Vingsö hamn.

Tabell 2. Sammanställning av när den första respektive sista harrobbservationen har skett i Vätterns tillflöden och Visingsö hamn under perioden 2005–2022.

År	Datum för första harrobbservationen	Vattentemperatur vid första harrobbservationen	Datum för sista harrobbservationen	Vattentemperatur vid sista harrobbservationen
2005	24-apr	-	13-maj	9,2
2006	19-apr	4,5	18-maj	8,0
2007	12-apr	6,0	30-maj	10,6
2008	07-apr	5,8	12-maj	10,4
2009	11-apr	9,0	18-maj	11,6
2010	08-apr	5,0	15-maj	9,5
2011	13-apr	9,8	10-maj	11,6
2012	28-mar	8,0	14-maj	7,5
2013	10-apr	5,0	20-maj	10,8
2014	20-mar	-	11-maj	9,2
2015	12-mar	4,6	17-maj	8,9
2016	28-mar	5,4	17-maj	9,9
2017	28-mar	7,5-7,8	29-maj	-
2018	12-apr	-	24-maj	16,9
2019	24-mar	-	21-maj	-
2020	22-mar	3,8	18-maj	10,4
2021	10-apr	5,8	19-maj	-
2022	14-apr	6,1	16-maj	5,0

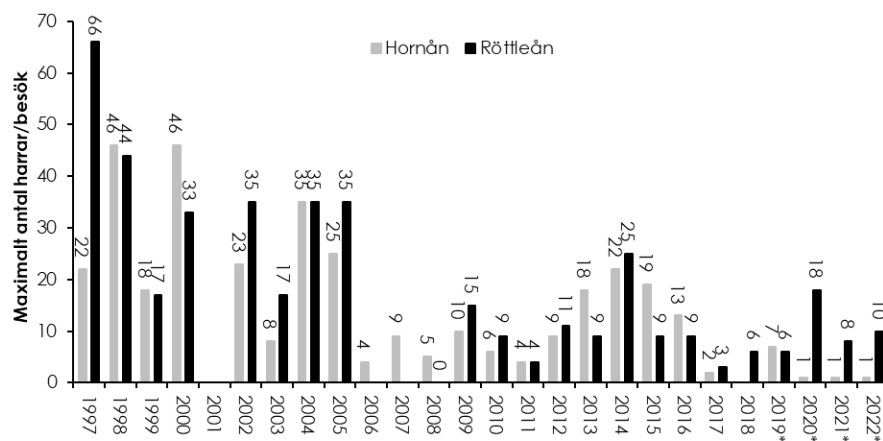
Tabell 3. Sammanställning av resultaten från de vattendrag som besöktes i samband med harrens lek våren 2022. Med max. antal harrar avses det maximala antalet harrar som har observerats vid ett och samma besökstillfälle. * Vid lek-fiskräkningen 2022 delades vattendraget upp i flera delsträckor.

Vattendrag	Antal protokoll	Max antal harrar	Datum för första harrobbservationen	Vattentemperatur första harrobbservationen
Almnäsbäcken	1	0	-	-
Dunkehallaån*	44	1	2022-04-23	9,5
Gagnån	10	7	2022-04-22	8,3
Granviksån	10	0	-	-
Hjoån*	52	10	2022-04-14	6,1
Hornån*	32	1	2022-05-01	8,8
Hökesån*	19	16	2022-04-20	8,4
Knipån	5	2	2022-04-24	7,0
Kärsbyån*	40	1	2022-05-02	12,3
Lillån-Huskvarna	25	0	-	-
Rödån*	4	5	2022-05-05	8,5
Röttleån*	66	10	2022-05-01	9,9
Sjöhamrabäcken	13	0	-	-
Tabergsån	1	0	-	-
Visingsö hamn	3	15	2022-05-15	5,0
Ålebäcken*	14	0	-	-



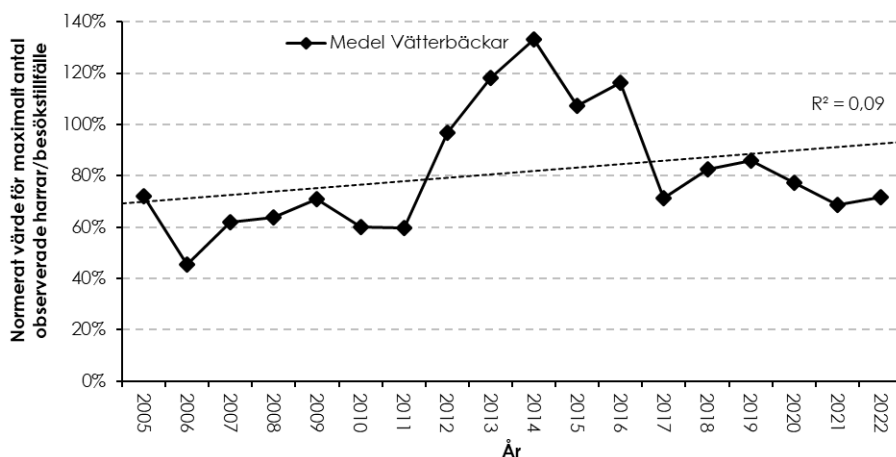
Figur 38. Maximalt antal observerade harrar vid ett och samma besökstillfälle i de av Vätterns tillflöden som besöktes i samband med harrens lek våren 2022 i förhållande till motsvarande värden våren 2021 (avsaknad av värde 2021 innebär att något besök inte skedde det året).

Av de 15 vattendrag och Visingsö hamn som besöktes våren 2022 observerades harr i cirka två tredjedelar (Tabell 3), vilket var positivt. Glädjande var även att det i flertalet av de besökta vattendragen noterades lika många eller fler harrar 2022 jämfört med 2021 (Figur 3). Värt att notera är bland annat förändringarna i Gagnån, Hökesån och Röttleån. Att endast en harr noterades i Kårsbyån under 2022 trots 40 upprättade besöksprotokoll under perioden 14 april – 17 maj är däremot anmärkningsvärt och bör följas upp under 2023. Hornån befinner sig alltså på fortsatt låga nivåer och den negativa trenden de senaste 5 åren håller i sig. Utvecklingen i Röttleån är däremot mer svårtolkad (Figur 4Figur).



Figur 4. Maximalt antal observerade harrar vid ett och samma besökstillfälle i Hornån och Röttleån under perioden 1997-2022. Observera att lekfiskräkningen under perioden 1997-2004 genomfördes av personal från Fiskeriverkets utredningskontor i Jönköping, medan den under perioden 2005-2022 har genomförts av volontärer inom ramen för det extensiva kontrollprogrammet. * Vid lekfiskräkningen 2019-2022 delades Hornån och Röttleån upp i tre delsträckor vardera.

Avseende trenden över tid indikerar resultaten från de senaste årens lekfiskräkningar att det nu har skett en stabilisering av antalet lekande individer på en förhållandevis låg nivå (Figur 5). Förklaringsgraden (R^2 -värdet) är förvisso låg, men sett till de senaste 6 åren är variationerna små ($\pm 7\%$).



Figur 5. Normaliserade värden för det maximala antalet observerade harrar vid ett enskilt besöks-tillfälle respektive år i samband lekfiskräkningarna i Vätterns tillflöden under perioden 2005-2022. Det normaliserade värdena har beräknats enligt: $\text{LOG}_{10}(\text{Max. antal observerade harrar år} + 1) / \text{LOG}_{10}(\text{Medel Max. antal observerade harrar 2005-2021} + 1) * 100$. Medel Vätterbäckar är ett medelvärde baserat på de normaliserade värdena för de av Vätterns tillflöden där besök har genomförts vid minst sexton (16) av vårarna under perioden 2005-2022 och där harr har observerats vid minst fjorton (14) av vårarna i respektive vattendrag. Baserat på opublicerat arbetsmaterial Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Sett till de standardiserade delsträckor som utarbetades inför lekfiskräkningen 2019 syns att det har skett såväl stora som små förändring (både positiva och negativa) inom vattendragen (Tabell 4). Vid en analys av de senaste fyra årens resultat framgick det emellertid att det inte skett någon signifikant förändring över tid för någon av de ingående delsträckorna (Spearman rank correlation, $N=113$, $R_s = -0,119$, $p > 0,05$). Även sett till de ingående vattendragen var resultaten det samma med undantag för Hornån där minskningen över tid var signifikant (Spearman rank correlation, $N=12$, $R_s = -0,629$, $p < 0,05$).

Tabell 4. Maximalt antal observerade herrar vid ett och samma besökstillfälle inom respektive standardiserad delsträcka under perioden 2019-2022 inklusive relativa årsvisa jämförelser med medelvärdet för perioden.

ID-delsträcka	Max. antal herrar				Medel 2019-2022	Relativt medel 2019-2022			
	2019	2020	2021	2022		2019	2020	2021	2022
Almnäsbäcken_1	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Dunkehallaån_1	3	5	4	1	3	92%	154%	123%	31%
Dunkehallaån_2	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Gagnån_1	4	5	3	7	5	84%	105%	63%	147%
Granviksån_1	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Hjoån_1	0	1	2	0	1	0%	133%	267%	0%
Hjoån_2	0	1	1	0	1	0%	200%	200%	0%
Hjoån_3	2	5	0	3	3	80%	200%	0%	120%
Hjoån_4	12	3	10	10	9	137%	34%	114%	114%
Hjällöbäcken_1	4	6	0		3	120%	180%	0%	0%
Hjällöbäcken_2	2	1	0		1	200%	100%	0%	0%
Hornån_1	4	0	0	0	1	400%	0%	0%	0%
Hornån_2	4	0	1	0	1	320%	0%	80%	0%
Hornån_3	2	1	0	1	1	200%	100%	0%	100%
Hökesån_1	8	18	4	8	10	84%	189%	42%	84%
Hökesån_1-2	9				9	100%	0%	0%	0%
Hökesån_2	0	13	0	16	7	0%	179%	0%	221%
Knipån_1	1	1	0		1	150%	150%	0%	0%
Knipån_2	0	0	0		0	-	-	-	-
Kärsbyån_1	1	1	1	0	1	133%	133%	133%	0%
Kärsbyån_2	8	3	4	1	4	200%	75%	100%	25%
Rödån_1	4	0	0	0	1	400%	0%	0%	0%
Rödån_2	7	3	4	5	5	147%	63%	84%	105%
Röttleån_1	6	8	5	7	7	92%	123%	77%	108%
Röttleån_2	2	9	2	4	4	47%	212%	47%	94%
Röttleån_3	0	6	0	0	2	0%	400%	0%	0%
Skämningsforsån_1	0	0	2		1	0%	0%	300%	0%
Ålebäcken_1	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Ålebäcken_2	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Ålebäcken_3	0	0	0	0	0	-	-	-	-

Avslutningsvis vill vi rikta ett stort tack till alla de personer som på sin fritid har hjälpt oss att inventera harrens lekvattendrag under våren 2022. Era insatser och ert engagemang utgör en mycket viktig del i övervakningen av harrens lek i Vätterns tillflöden.

TACK OCH FÖRHOPPNINGSVIS PÅ ÅTERSEENDE VÅREN 2023!

Nederbördskemiska undersökningar av försurande och övergödande ämnen på Visingsö 2021

Veronika Kronnäs, Gunilla Pihl Karlsson & Per Erik Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Sammanfattning

Sedan februari 1993 mäts nedfallet med nederbörd (våtdepositionen) av försurande och övergödande ämnen, samt metaller, över öppet fält på Visingsö. Mätningar sker varje månad och utförs av IVL Svenska Miljöinstitutet, på uppdrag av Vätternvårdsförbundet. I denna rapport jämförs mätresultaten för försurande och övergödande ämnen på Visingsö med tidigare års resultat och med resultat från motsvarande mätningar av nedfall över öppet fält vid åtta andra platser i södra och mellersta Sverige, som provtas inom Krondroppsnetet.

Nederbördsmängden vid provtagningsplatsen på Visingsö under 2021 var 445 mm, vilket var något över genomsnittet för de fem åren innan (397 mm), men lägre än långtidsgenomsnittet för hela mätserien (560 mm). Jämfört med de övriga åtta redovisade mätstationerna i södra och mellersta Sverige har Visingsö en låg nederbörd. De årliga nederbördsmängderna har minskat statistiskt säkerställt vid majoriteten av de jämförda mätplatserna sedan år 2000, så även vid Visingsö.

Vid samtliga av de här jämförda mätplatserna i södra och mellersta Sverige har våtdepositionen av icke-marint svavel (svavel som inte kommer från havssalt) minskat signifikant med 62–84 % sedan år 2000. På Visingsö var minskningen 62 %. Generellt brukar svavelnedfallet vid Visingsö vara lågt. På Visingsö var svavelnedfallet under 2021 strax under 1 kg per hektar. Torrdepositionen av svavel är dock inte inkluderat i dessa mätningar. Torrdepositionen är låg på öppet fält, men högre i skog.

Nedfallet med nederbörd av oorganiskt kväve (summan av nitrat- och ammoniumkväve) på Visingsö var under 2021 lägre än medelvärdet för de fem närmast föregående åren (3,6 kg/ha under 2021 och 4,5 kg/ha under 2016–2020). Dock är inte torrdepositionen av kväve inkluderat i dessa mätningar. Den kritiska belastningsgränsen för oorganiskt kväve för barrskog, som inkluderar både våt- och torrdeposition, ligger på 5 kg/ha och år. Den uppmätta våtdepositionen av oorganiskt kväve indikerar att det totala nedfallet av oorganiskt kväve ligger över eller runt den kritiska belastningen, både på Visingsö och flertalet övriga mätplatser. Det oorganiska kvävenedfallet i nederbörden har inte minskat statistiskt säkerställt på Visingsö sedan 2000, dock har det minskat vid de övriga mätplatserna. Våtdepositionen av nitratkväve har minskat statistiskt

säkerställt även på Visingsö sedan år 2000, men inte våtdepositionen av ammoniumkväve.

Inom Krondroppsnetet har det totala nedfallet (summan av våt- och torrdeposition) av oorganiskt kväve till barrskog beräknats för det hydrologiska året 2020/21 (oktober 2020 - september 2021). För barrskog på Visingsö beräknades kvävenedfallet under 2020/21 till runt 6 kg per hektar, vilket är högre än den kritiska belastningsgränsen på 5 kg N per hektar. Den kritiska belastningsgränsen har överskridits ännu mer på Visingsö under tidigare år. Detta innebär att vegetationen på Visingsö, och även i resten av Jönköpings län, sedan länge är påverkad av ett förhöjt kvävenedfall.

Inledning

Sedan februari 1993 mäts nedfallet med nederbörd (våtdepositionen) av försurande och övergödande ämnen, samt metaller, över öppet fält på Visingsö. Mätningar sker varje månad och utförs av IVL Svenska Miljöinstitutet, på uppdrag av Vätternvårdsförbundet. Här redovisas och analyseras resultaten av mätningarna av försurande och övergödande ämnen sedan 1994, det första hela kalenderåret som det finns mätningar för, till och med kalenderåret 2021.

I rapporten visas både årsvisa och månadsvisa mätresultat från Visingsö. De årsvisa resultaten jämförs även med resultat från motsvarande mätningar av nedfall med nederbörd över öppet fält vid åtta andra platser i södra och mellersta Sverige; Fagerhult i Jönköpings län, Blåbärskullen och Södra Averstad i Värmlands län, Hensbacka i Västra Götalands län, Höka i Östergötlands län, Edeby i Södermanlands län, Kvisterhult i Västmanlands län samt Tagel i Kronobergs län. Dessa mätstationer drivs inom Krondroppsnetet (www.krondroppsnetet.ivl.se). Var de ligger visas i Figur 1 nedan.



Figur 1. Karta över de mätplatser som jämförs i denna rapport: Visingsö, Höka, Edeby, Kvisterhult, Blåbärskullen, Södra Averstad, Hensbacka, Fagerhult, samt Tagel.

Månadsvisa mätresultat vid Visingsö 2021

Månadsnederbörden och våtdepositionen per månad av övergödande, försurande och försurningsmotverkande ämnen visas i Figurerna 2 och 3 för mätstationen på Visingsö. Mängden våtdeposition beräknas från den nederbördsmängd som uppmätts och koncentrationerna av de olika ämnena i det insamlade provet. Hur stor våtdepositionen blir beror på kombinationen av nederbördsmängden och av föroreningsgraden hos luftmassan som passerar över området. Oftast beror ett tillfälligt högt nedfall på en hög nederbördsmängd, men det är inte alltid så.

Sulfat (SO_4^{2-}) och nitrat (NO_3^-) är luftföroreningar som i huvudsak har transporterats långt, medan ammonium (NH_4^+) och fosfor (P) har ett större inslag av påverkan från lokala utsläpp, även om långt transporterat ammoniumkväve också förekommer. Koncentrationen av klorid visar inslaget av salt från havet i den passerande luftmassan. Baskatjonerna kalcium, magnesium, kalium och natrium kommer från havssalt, lokala källor och mer långväga källor (aska från skogsbränder exempelvis).

Under 2021 kom ovanligt mycket nederbörd under maj månad. Även juli och september hade relativt hög uppmätt nederbörd, medan ingen nederbörd alls uppmättes i februari, och även under augusti och december var det lite nederbörd. Nedfallsmängderna var relativt höga under maj, juli, samt september till november – trots att nederbördsmängderna inte var särskilt höga under oktober eller november. Nedfallet under maj var inte ovanligt högt trots den höga nederbördsmängden.

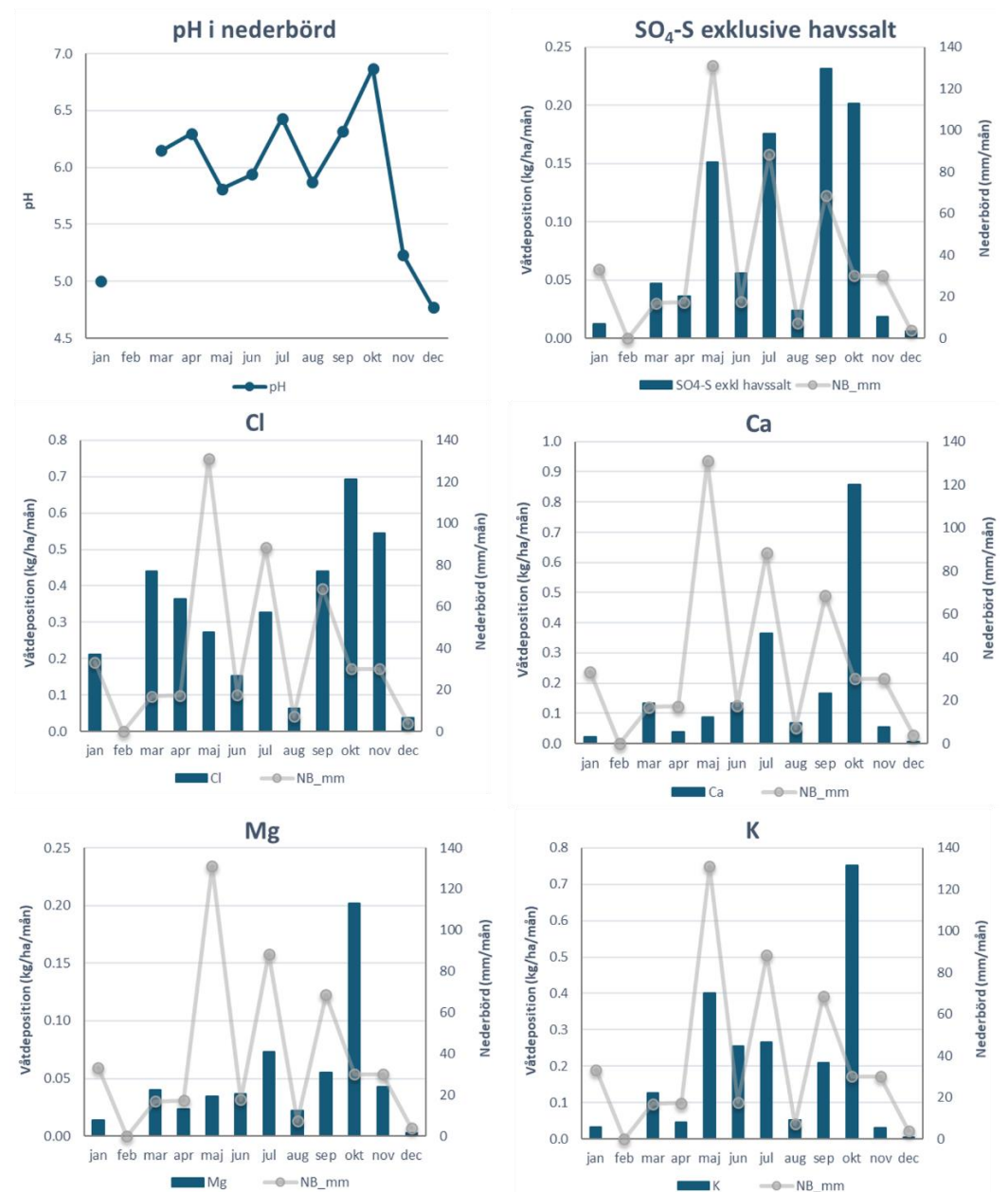
Under 2021 var pH i nederbörden på Visingsö lägst i januari (5,0) och december (4,8) och högst i oktober (6,9), följt av juli (6,4) och september (6,3). Det innebär att månader med relativt högt nedfall av försurande ämnen inte hade särskilt låga pH-värden, eftersom nedfallet av försurande ämnen balanserades av nedfall av försurningsmotverkande ämnen. Månader med en större obalans mellan försurande och försurningsmotverkande ämnen (dvs lägre pH) hade i gengäld mycket låg nederbörd och deposition.

Sett i ett längre tidsperspektiv var svavelnedfallet med nederbörden lågt under 2021, med 0,96 kg/ha (borträknat det 0,16 kg svavel som kom från havssalt). Det kan jämföras med nedfallet med nederbörden under mätseriens början på 1990-talet, när det årligen kom mer än 4 kg svavel per år. Högst svavelnedfall under 2021 kom under september och oktober (0,23 respektive 0,20 kg/ha), Figur 2. Under februari 2021 förekom ingen nederbörd.

Kloridnedfallet med nederbörden på Visingsö var lågt under 2021. Högst kloridnedfall uppmättes på Visingsö under september till november 2021 (0,44, 0,69 respektive 0,55 kg/ha).

Även nedfallet med nederbörden av baskatjonerna kalcium, magnesium och kalium visas i Figur 2. Över 40 % av nedfallet av kalcium kom under

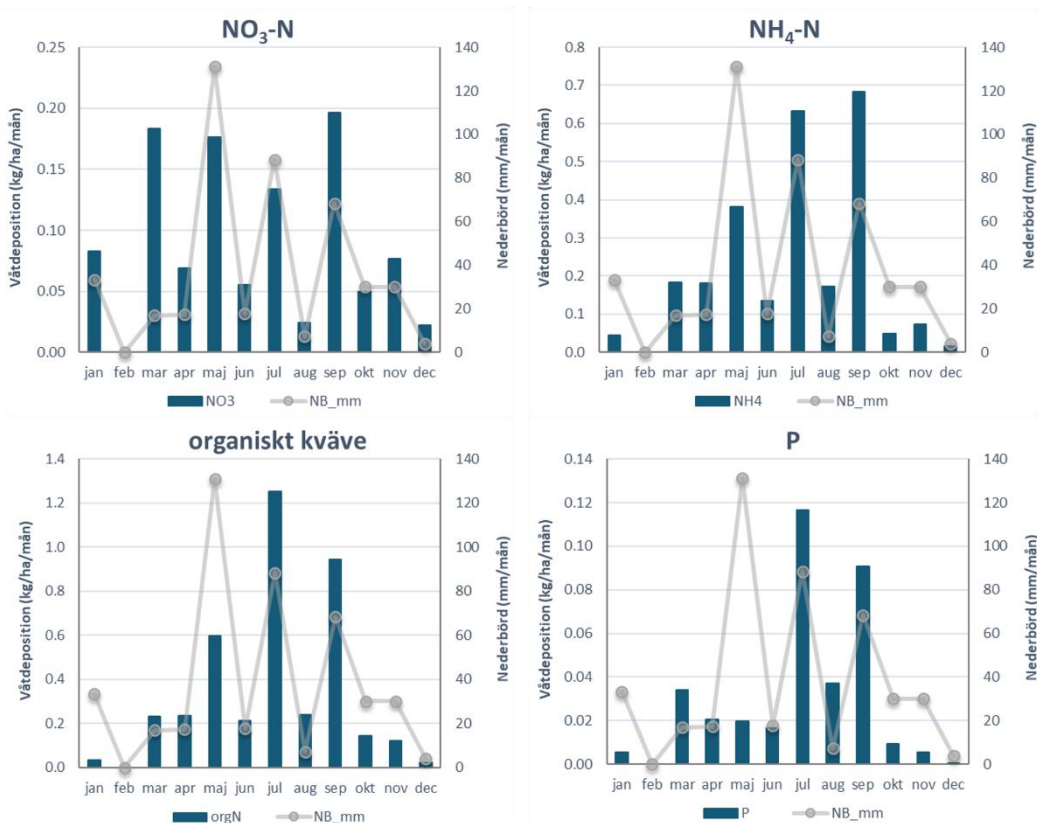
oktober månad år 2021 och även för magnesium var nedfallet klart högst under oktober månad. Båda dessa värden var bland de högsta uppmätta på platsen. Även värdena för juli var relativt höga, medan resten av årets uppmätta värden var låga. Året innan, 2020, var nedfallet med nederbörden av kalcium och magnesium också ovanligt högt under oktober. Nedfallet av kalium var som högst under oktober, men nedfallet var inte lika utpräglat dominerat av den månaden jämfört med nedfallet av kalcium och magnesium. Nedfallet av natrium (visas ej) följde nästan samma mönster som nedfallet av klorid, eftersom havssalt är huvudkällan för de båda ämnena.



Figur 2. Månadsvisa pH-värden, samt nedfall med nederbörden av svavel (exklusive havssaltsbidrag), klorid, kalcium, magnesium och kalium från mätningarna över öppet fält på Visingsö under perioden januari till december 2021 (staplar). I diagrammen över nedfall visas även månadsvis uppmätt nederbörd (punkter).

Kvävenedfallet med nederbörden var 3,6 kg/ha under 2021, vilket är ett normalt nedfall jämfört med de fem senaste åren. Nedfallet av kväve i form av ammonium (2,6 kg/ha) var 2,5 gånger högre än nedfallet av nitratkväve (1,0 kg/ha) under 2021. Under mätseriens början på 1990-talet brukade nedfallet av nitratkväve vara lika stort som nedfallet av ammoniumkväve, men nitratnedfallet har minskat tydligt sedan dess. Högst kvävenedfall under 2021 kom under maj, juli och september, där septembernedfallet var allra högst för båda kväveformerna. Nedfallet av ammoniumkväve var lågt under vintern, medan nitratnedfallet inte visade någon större årstidsvariation (Figur 3). Nedfallet med nederbörden av kväve bundet i organiska molekyler var medelhögt under 2021 (4,0 kg/ha), med låga värden under vintermånaderna och höga under maj, juli och september. Nedfallet av organiskt bundet kväve är alltså, numera, minst lika stort som nedfallet av oorganiska kväveföreningar på Visingsö.

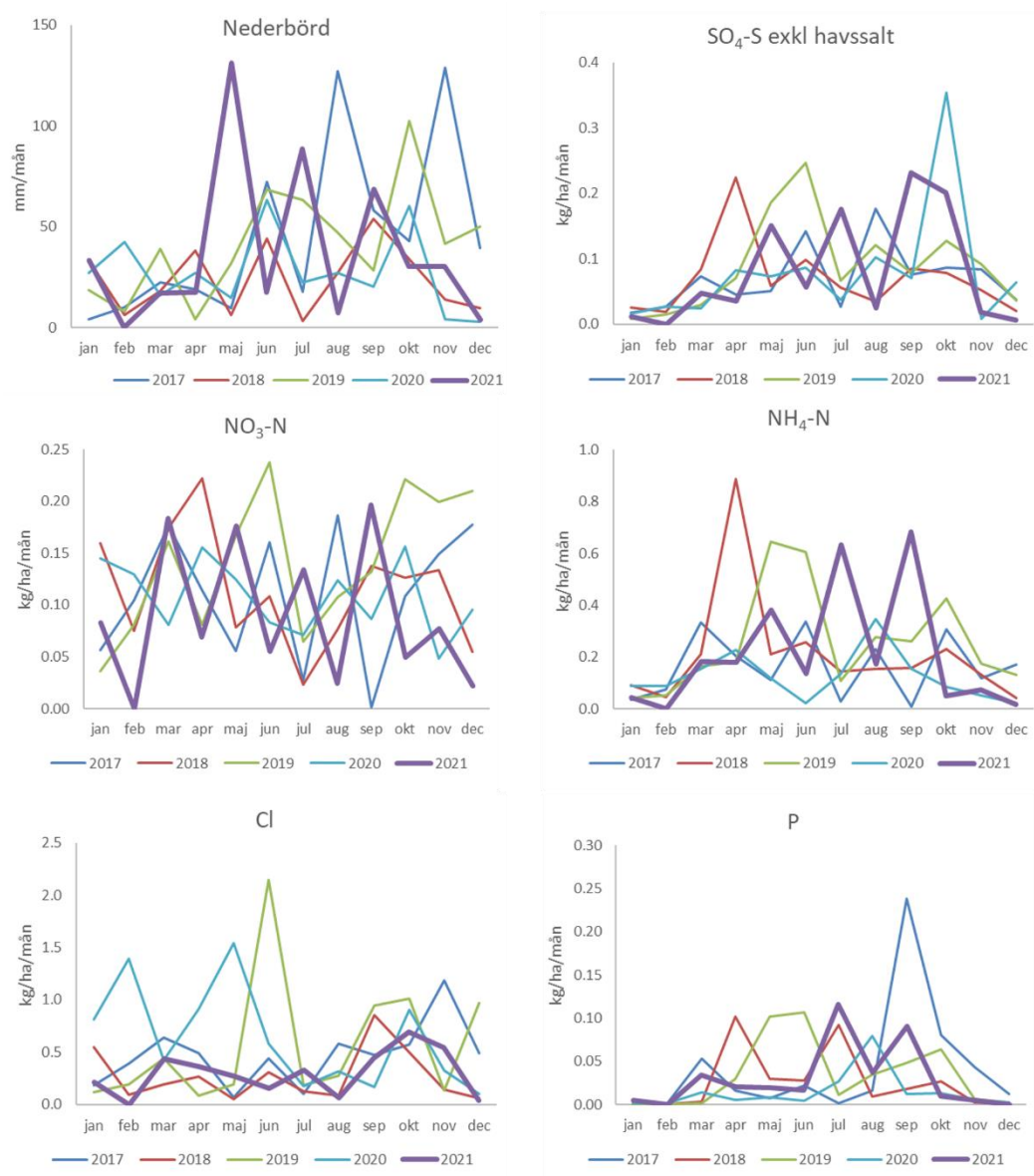
Fosfordnedfallet med nederbörden var lågt (0,36 kg/ha) under 2021 och liknade ammoniumnedfallet tidsmässigt, om än med lågt nedfall i maj trots den höga nederbörden då (Figur 3).



Figur 3. Månadsvist nedfall med nederbörd av nitrat-, ammonium- och organiskt kväve, samt fosfor från mätningarna över öppet fält på Visingsö under perioden januari till december 2021 (staplar). I varje diagram visas även månadsvis uppmätt nederbörd (punkter).

Månadsvis jämförelse av mätresultat vid Visingsö med tidigare års mätningar

De fem senaste årens mätresultat på Visingsö visas i Figur 4. I figuren framgår att nederbörds mängden framförallt under maj månad var ovanligt hög. Augusti 2021 hade en ovanligt låg nederbörd jämfört med de senaste årens mätningar. Även februari och december hade låg nederbörd 2021, men de månaderna har även haft låg nederbörd under flera av de senaste fem åren. Övriga månader under 2021 var på en normal nivå jämfört med de senaste åren.



Figur 4. Månadsvisa nederbörds mängder (mm) samt nedfall (kg/ha/månad) av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S_{ex}), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), kloridjoner (Cl) samt fosfor (P) från mätningarna i nederbörden över öppet fält på Visingsö under perioden januari 2017 till december 2021.

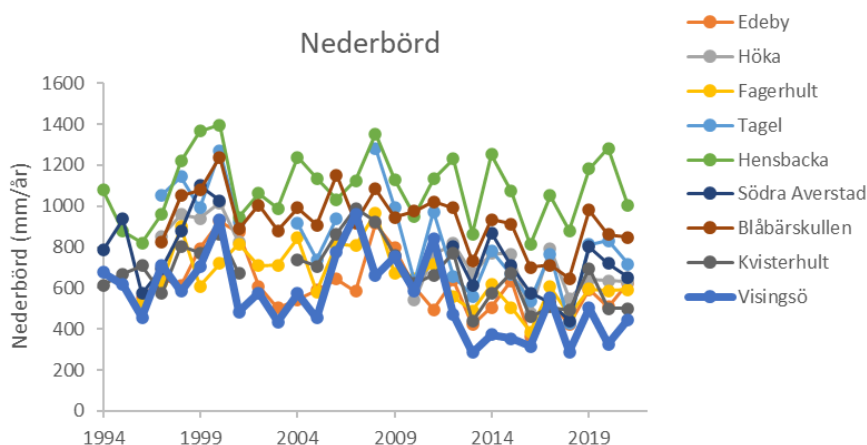
När det gäller övriga parametrar var nedfallet med nederbörden under 2021 på normala nivåer för samtliga parametrar utom klorid, som var något lägre, jämfört med de föregående fyra årens mätningar.

Jämförelse med omkringliggande platser för 2021 och tidigare års mätningar

Årsvisa nederbördsmängder, nedfall av försurande och övergödande ämnen och pH i nederbörden på Visingsö visas i figurerna 5 – 9, tillsammans med motsvarande värden för åtta andra platser där nedfallsmätningar bedrivits över öppet fält inom Krondropps nätet för perioden 1994–2021. I Figur 1 visas var dessa mätplatser är belägna.

En statistisk trendanalys har genomförts med Mann-Kendall - metodik för åren sedan 2000, för sju av de nio mätplatserna. Vid Höka och Södra Averstad hade mätningarna ett långt uppehåll från åren runt 2001 till 2010 respektive 2012, varför de ej är med i den statistiska analysen. Även vid Tagel och Kvisterhult har ett mätuppehåll skett, under 2002–2003. Mann-Kendall-analysen går dock att använda även om kortare mätuppehåll finns. Vid alla övriga mätplatser finns kompletta mätserier.

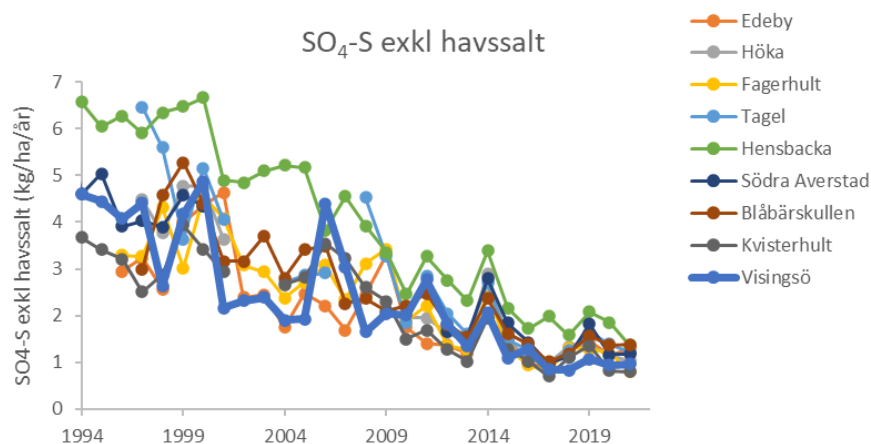
Under 2021 var nederbördsmängderna i södra Sverige lägre än genomsnittet för den totala mätperioden vid samtliga platser utom Edeby, Figur 5. Jämfört med de senaste fem föregående åren var dock medelnederbördsmängderna vid de olika mätplatserna lite högre under 2021, utom i Hensbacka och Kvisterhult. Under 2021 var nederbörden 445 mm vid mätstation på Visingsö, jämfört med medelvärdet 397 mm de senaste fem föregående åren och 560 mm som medelvärde för hela mätperioden (1994–2021) på Visingsö.



Figur 5. Årsvis (kalenderår) nederbördsmängd (mm) 1994–2021 över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 1.

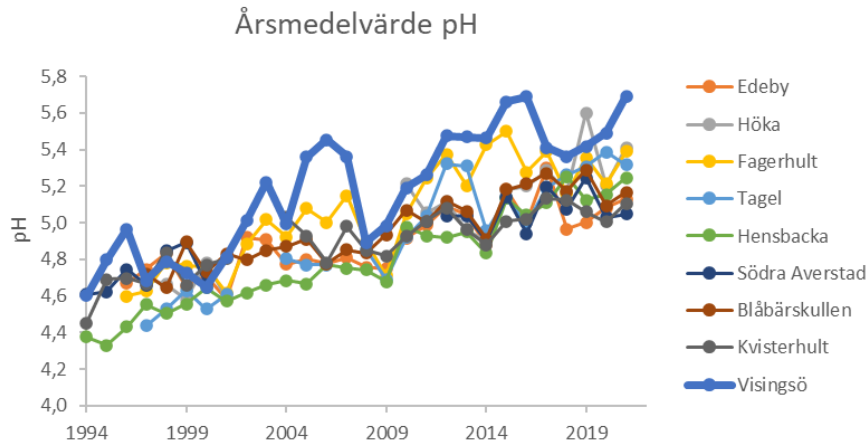
Figur 5 visar att nederbördsmängderna ofta är låga på Visingsö i förhållande till andra platser i södra Sverige. Nederbördsmängderna har sedan 2000 minskat statistiskt säkerställt vid fem av de sju mätplatserna, inklusive Visingsö, där minskningen var 46 %.

Vid samtliga sju mätplatser som ingår i trendanalysen har svavelnedfallet med nederbörden, exklusive bidrag från havssalt, minskat signifikant med 62 till 84 % sedan år 2000. Störst var minskningen vid Kvisterhult och lägst vid Visingsö och Edeby. Efter 2014 års förhöjning av svavelnedfallet, som syntes på alla mätplatser och som främst orsakades av vulkanutbrottet vid Holuhraun på Island under hösten 2014 (Hellsten m.fl., 2017), har svavelnedfallet på följande år varit låga, Figur 6. Generellt avtar svavelnedfallet i en gradient från sydvästra Sverige mot nordost, något som även syns i Figur 6, genom att högst svavelnedfall oftast uppmätts vid Hensbacka, vid den svenska västkusten, och lägst nedfall vid Kvisterhult, som ligger mer åt nordost. Generellt brukar svavelnedfallet vid Visingsö vara lågt, något som kan bero på dess läge mitt i Vättern med relativt låg nederbörd. Åren 2000, 2006 och 2011 var dock nedfallet av svavel, både marint och ickemarint, högt på Visingsö jämfört med de andra mätstationerna.



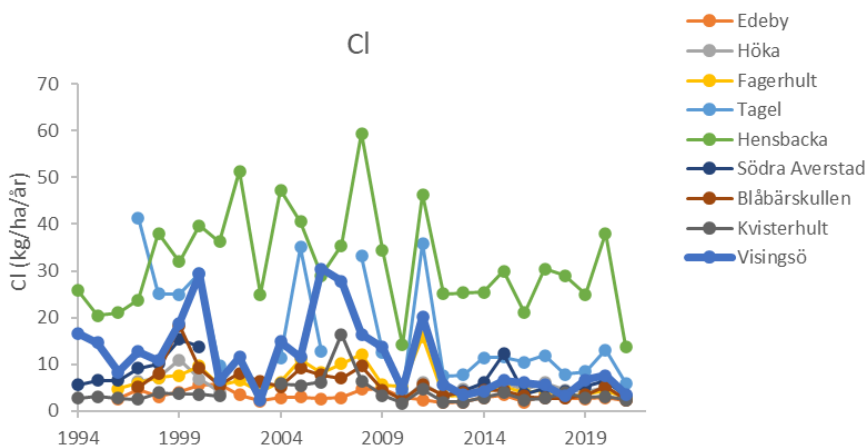
Figur 6. Årsvis (kalenderår) våtdeposition (kg/ha) av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag 1994–2021 med nederbörden över öppet fält på Visingsö, samt vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 1.

pH i nederbörden var under 2021 relativt högt vid mätstationerna, Figur 7. Högst pH uppmättes i nederbörden vid Visingsö och lägst vid Södra Averstad. pH i nederbörden på Visingsö har oftast varit högst jämfört med övriga här jämförda platser. pH i nederbörden har ökat statistiskt säkerställt vid samtliga mätplatser sedan år 2000.



Figur 7. Årsmedelvärden av pH i nederbörden 1994–2021 över öppet fält på Visingsö, samt vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 1.

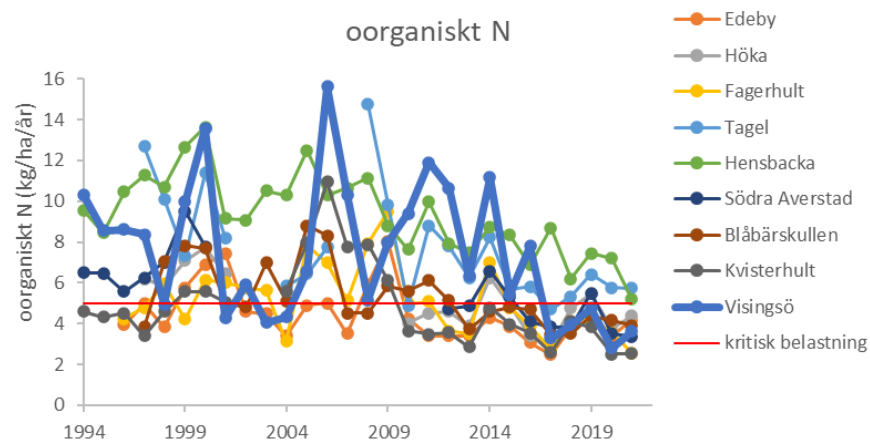
Visingsö har vissa år haft ett relativt högt nedfall av havssalt, vilket indikeras av kloridnedfallet. Kloridnedfallet under 2021 var för samtliga mätplatser på en lägre nivå, både jämfört med ett medelvärde för hela mätperioden och för de fem föregående åren. Kloridnedfallet är nästan alltid klart högre i Hensbacka än vid de övriga mätstationerna, vilket beror på dess kustnära läge. I Figur 8 syns att kloriddepositionen även under 2021 var klart högst vid Hensbacka följt av Tagel. Kloriddepositionen vid övriga mätplatser var relativt lika, och låg, under 2021. Saltnedfall är på lång sikt gynnsamt för att motverka försurning, eftersom det tillför baskatjoner som till viss del stannar kvar i jorden och ersätter vätejoner. Episoder med mycket höga saltnedfall till försurade jordar kan dock medföra att försurningen av markvattnet tillfälligt ökar, när vätejonerna lakas ut tillsammans med de tillförda kloridjonerna och sulfatjonerna från havssaltet. Sedan år 2000 har kloridnedfallet minskat statistiskt säkerställt vid Blåbärskullen och Fagerhult, med 65 respektive 49 %. Det fanns ingen statistiskt signifikant förändring av kloridnedfallet vid Visingsö sedan 2000.



Figur 8. Årvis (kalenderår) våtdeposition (kg/ha) av kloridjoner (Cl) 1994–2021 över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 1.

Nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat- och ammoniumkväve) med nederbörden var under 2021 lågt, liksom de närmast föregående åren. Vid flertalet mätplatser var nedfallet med nederbörden under den kritiska belastningsgränsen för barrskog på 5 kg/ha och år, Figur 9, vilket innebär att totalnedfallet (vilket inkluderar torrdepositionen) kan ligga runt gränsen. Endast vid Hensbacka och Tagel var nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden högre än den kritiska belastningsgränsen. Högst oorganiskt kvävenedfall med nederbörden uppmättes vid Tagel med cirka 5,7 kg per hektar. Vid Hensbacka var det 5,2 kg per hektar och vid Visingsö var det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden 3,6 kg/ha under 2021. Dock är inte torrdepositionen av kväve inkluderad i dessa mätningar, något som adderar en relativt stor mängd kväve vid beräkningen av det totala kvävenedfallet till barrskog, Figur 10B.

Sedan 2000 har det oorganiska kvävenedfallet i nederbörden minskat statistiskt säkerställt vid sex av de sju mätplatserna, alla utom Visingsö, med mellan 37 och 59 %. Uppdelat på nitrat och ammonium har nitratnedfallet sedan år 2000 minskat statistiskt säkerställt vid samtliga mätplatser, med mellan 44 och 61 %, medan ammoniumnedfallet endast minskat statistiskt säkerställt vid Kvisterhult, Hensbacka och Blåbärskullen, med 38 till 66 % (data visas ej).



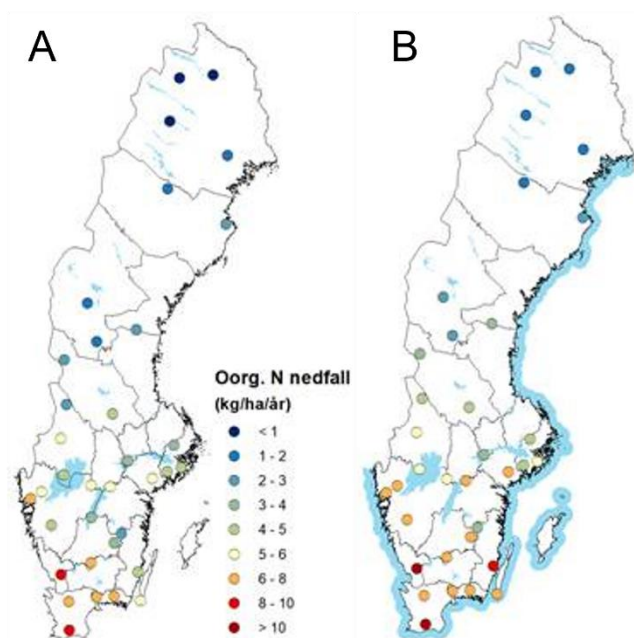
Figur 9. Årsvis (kalenderår) våtdeposition (kg/ha) av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) 1994–2021 över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 1. En röd horisontell linje indikerar den kritiska belastningen för nedfall av oorganiskt kväve till barrskog, som dock gäller totaldeposition (våt+torr), som är högre än våtdepositionen.

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden på öppet fält för det hydrologiska året 2020/21 (dvs oktober 2020 till september 2021) visas för de södra delarna av landet i Figur 10A med karta från Krondropps-nätet (Pihl Karlsson m.fl., 2022). Gradienten från sydväst mot nordost framträder tydligt. Som högst i landet uppmättes ett oorganiskt kvävenedfall med nederbörden på öppet fält under 2020/21 på 9,4 kg per hektar och år i Hallands län.

Det totala nedfallet av kväve till skog består av summan av nedfallet med nederbörden och den s.k. torrdepositionen, d.v.s. avsättningen av gaser

och partiklar till alla ytor t.ex. till trädens blad och barr. Barrträdens kronor har en ansevärd yta och filtrerar luften väl, så torrdepositionen i barrskog kan vara betydande. Torrdeposition mäts i dagsläget inte på Visingsö, däremot mäts den vid Fagerhult, Hensbacka, Blåbärskullen och Edeby. I mätningarna av oorganiskt kvävenedfall, Figur 9 samt i kartan 10A, är torrdepositionen inte medräknad. Torrdeposition kan dock beräknas med hjälp av en kombination av mätningar med strängprovtagare, öppet fält- och krondroppsmätningar vid andra stationer inom Krondroppsnetet. Resultaten från dessa mätningar, som gäller barrskog, har sedan interpolerats geografiskt (Karlsson m.fl., 2018). Figur 10B visar det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet för de olika mätplatserna inom Krondroppsnetet under det hydrologiska året 2020/21. Inkluderat torrdepositionen, är det totala oorganiska kvävenedfallet till barrskog på Visingsö under det hydrologiska året 2020/21 runt 6 kg per hektar (Pihl Karlsson m.fl., 2022). Detta är betydligt högre än de 3,8 kg per hektar som uppmättes i nederbörden för det hydrologiska året 2020/21 (under kalenderåret 2020 var nedfallet 3,6 kg/ha i nederbörden).

Torrdepositionen till lövskog är inte lika hög som för barrskog, eftersom den samlade ytan för lövträdens kronor är lägre. Det uppmätta kvävenedfallet med nederbörden utgör dock en underskattning av det totala kvävenedfallet även för lövskogen på Visingsö. Det totala nedfallet av oorganiskt kväve (torr- samt våtdeposition) visas för hela landet i kartan från Krondroppsnetet, Figur 10B. Vid två platser i sydvästra Sverige (Stenshult i Skåne och Timrilt i Hallands län) var det totala oorganiska kvävenedfallet över 10 kg per hektar och år.



Figur 10. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) under det hydrologiska året 2020/21. **A.** Uppmätt nedfall med nederbörden till öppet fält. **B.** Beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) till barrskog (Pihl Karlsson m.fl., 2022). Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik som beskrivs i Karlsson m.fl. (2018).

Metoder

Bulkdepositionen av försurande ämnen mäts på öppet fält genom månadsvis insamling och analys av nederbörd året runt. Bulkdepositionen består i huvudsak av våtdeposition, men det finns även ett litet inslag av torrdeposition till insamlingsutrustningen. Mätningarna på Visingsö startade i februari 1993 i Säby och har sedan dess pågått utan avbrott. Mätningarna flyttades av praktiska skäl i januari 2002 tre km längre söderut, till Kumlaby, och flyttades tillbaka till Säby i mars/april 2005, till en plats cirka 100 meter från den ursprungliga platsen (koordinater; x, 6439800; y, 1414660). Mätplatsen i Kumlaby var inte lika vindexponerad som den ursprungliga eller nuvarande placeringen, vilket innebär att data från januari 2002 till mars/april 2005 inte fullt ut är jämförbara med tidigare och senare data. En mindre vindexponerad lokal minskar risken för störningar av provtagningen, bland annat i samband med starka vindar.

Nederbörd insamlades fram till och med september 2011 med hjälp av en s.k. MISU-provtagare som finns beskriven i tidigare rapporter, se provutrustningen längst till vänster i bild nedan. Mätutrustningen var identisk med den som har använts inom Krondroppsnätet (Pihl Karlsson m.fl., 2022). Sedan oktober 2011 används en så kallad WoF-provtagare för att samla in nederbörden, se bild nedan. Utrustningen för insamling av nederbörd på öppet fält är utvecklad av IVL och består av ett cirka 1,5 meter högt rör (diameter 20,3 cm) med en plastsäck inuti röret, som sätts fast med hjälp av ett spännband samt en ”krona” som placeras överst. Mellan röret och kronan sitter ett nät som skall skydda provtagen nederbörd mot skräp under sommarhalvåret. Röret står på en platta under mark samt är fixerad med hjälp av tre reglerbara vajrar.



Figur 11. Bild från Visingsö 26 augusti 2009. Den tidigare provtagningsutrustningen för försurande ämnen visas längst till vänster och den då nya WoF-provtagaren som nummer tre från vänster, mitt i bild.

Samma utrustning används, förutom på Visingsö, även på samtliga mätstationer där nederbörd över öppet fält provtas inom Krondropps nätet samt inom Luft- och nederbördskemiska nätet. Provbyten utförs sedan 2005 av Ingemar Zander som är bosatt på ön. Vid provbyte skickas insamlad nederbörd till IVL för analys av pH, alkalinitet, klorid, svavel, kvävekomponenter, samt baskatjoner.

Cirka 100 m från provtagningsplatsen som redovisas i denna rapport bedrivs dygnsvisa mätningar av nederbördsmängd, administrerade av SMHI. SMHI:s mätningar har flyttats på samma vis som depositions mätningarna. SMHI:s provtagningsutrustning står dock i närheten av ett träd samt relativt nära ett hus, vilket gör att den är mindre vindexponerad än mätutrustningen som används i detta projekt.

Referenser

Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. & Akselsson, C. 2017: Påverkan på nedfallet och luftkvaliten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015. IVL Rapport C 234.

Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S. & Akselsson, C. 2018. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E., 2022. Förurning och övergödning i Jönköpings län. Resultat från Krondropps nätet till och med 2020/21. IVL Rapport C 681.

Nederbördskemisk undersökning av metaller på Visingsö 2021

Michelle Nerentorp & Gunilla Pibl Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Sammanfattning

IVL Svenska Miljöinstitutet AB har på uppdrag av Vätternvårdsförbundet månadsvis mätt metaller i nederbörd på Visingsö sedan mars 1993. Mätningarna år 2021 visade generellt högre deposition under månaderna maj till juli för samtliga uppmätta metaller. Juniprovet visade sig vara kontaminerat och har i presentationen av resultaten ersatts med uppskattade värden genom interpolering utifrån värdena för de intilliggande månaderna maj och juli. Under februari var depositionen av alla metaller som lägst, detta främst på grund av låg nederbördsmängd. Generellt var depositionen av metaller högre på sommarhalvåret jämfört med under vintermånaderna. Ser man tillbaka på mätåren 2017–2020 så uppvisar mätningarna liknande månadsvariationer för de olika metallerna, tydligast för kadmium och koppar.

Årsdepositionen år 2021 av arsenik, krom, nickel, bly och zink var lägre än det föregående året. Övriga uppmätta metaller (kadmium, koppar) var i stället högre jämfört med 2020. Trendanalyser med Mann-Kendall-metodik visade att för perioden 1994 till 2021 har endast blydepositionen signifikant minskat med 54%. Depositionen av koppar och zink har ökat med 113 respektive 177 % och järn, aluminium och mangan har ökat med 154, 139 respektive 184 %.

Årsdepositionen av uppmätta metaller på Visingsö jämfördes också med metalldepositionen vid svenska bakgrundsstationer, framtagna inom nationell miljöövervakning. Jämförelsen visade att depositionen av krom, zink och nickel generellt var högre på Visingsö jämfört med vid bakgrundsstationerna. Trendanalysen visade att arsenik- och nickeldepositionen minskade vid Råö (Halland), Vavihill/Hallahus (Skåne) och Bredkålen (Jämtland) med 48 – 65 % under perioden 2009–2021. Någon sådan minskning observerades inte på Visingsö. Vid Bredkålen i Jämtland har årsdepositionen av flera övriga metaller uppvisat en signifikant minskning från 2009 till 2021 (arsenik, kadmium, krom, och zink). Från 2009 till 2021 visade trendanalysen endast en signifikant ökning av zink (89 %) på Visingsö. För övriga metaller visades inga signifikanta skillnader på Visingsö.

Beräknade EF-faktorer (Enrichment Factors, ”anrikningsfaktorer”) indikerade att kadmium, zink och koppar troligtvis härrör från antropogena källor, lokala eller långväga transporterade via luft från källor i Europa. Visingsö har en naturlig förekomst av metaller i berggrunden, vilket kan vara en bidragande faktor till förhöjd deposition av flertalet metaller. Till

exempel kan förekomsten av aluminium och järn i luft och nederbörd antas vara förknippade med lokal erosion och suspension av partiklar. De snarlika månadsvariationerna i metalldeposition mellan aluminium och järn och majoriteten av de uppmätta metallerna indikerar att även övriga metaller kan härröra från liknande naturliga lokala källor.

Inledning

Sedan 1993 har IVL Svenska Miljöinstitutet AB mätt metaller i nederbörd på Visingsö på uppdrag av Vätternvårdsförbundet. Mätplatsen var först placerad i Säby, men flyttades till Kumlaby i januari 2003, ca 3 km söder om Säby. Under mars/april 2005 flyttades mätplatsen tillbaka till sin nuvarande plats i Säby, ca 100 meter från den ursprungliga platsen (koordinater: x, 6439800; y, 1414660). Mätplatsen i Kumlaby var mindre exponerad mot vind vilket var gynnsamt ur provtagningssynpunkt eftersom nederbörds mängden kan underskattas vid för stark vind.

Mätningarna utförs månadsvis med specialdesignade metallprovtagare, se kapitel 6. I denna rapport presenteras månads- och årsvist nedfall av metallerna arsenik, kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink samt aluminium, järn och mangan. Resultaten jämförs även med tidigare års resultat, samt med mätningar gjorda på andra platser i Sverige.

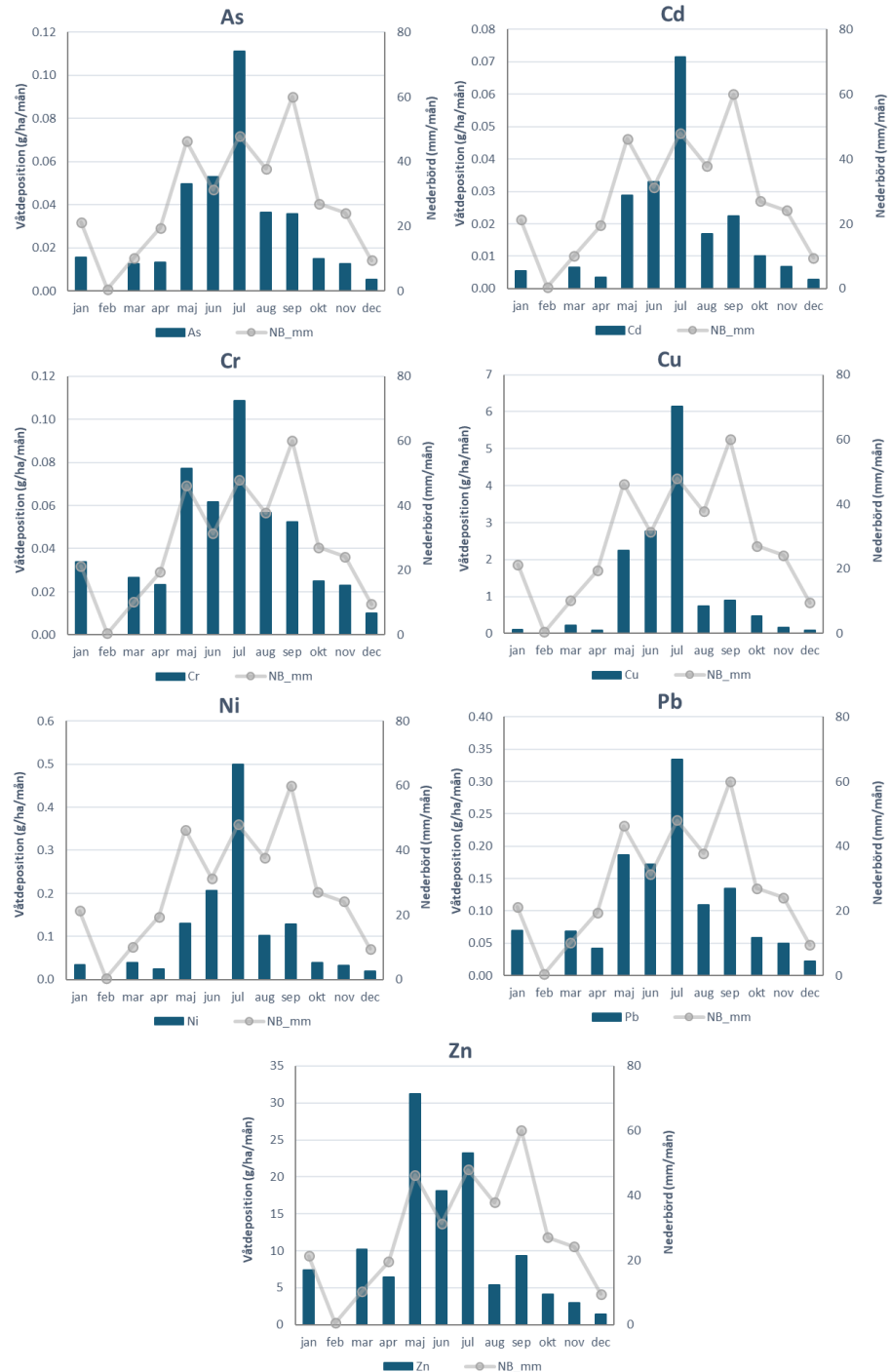
Månadsmässiga mätresultat vid Visingsö 2021

I Figur 1 presenteras månadsvis deposition av metallerna arsenik, kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink, samt månadsvis nederbörds mängd, på Visingsö för mätningarna under 2021.

Under 2021 var nederbörds mängden som högst under september månad (60 mm) och som lägst i februari då endast 0,5 mm nederbörd uppmättes. Månadsvariationen av metalldepositioner följer relativt väl nederbörds mängden, förutom för juli där depositionen generellt var högre än nederbörds mängden och för september där det trots den höga nederbörds mängden inte uppmättes särskilt förhöjda metalldepositioner. Det är dock inte enbart nederbörds mängd som styr metalldepositionen, utan även mängden metallpartiklar i luften.

Högst metalldepositioner uppmättes under perioden maj till juli 2021. Under juni mättes kraftigt förhöjda depositioner av samtliga metaller i provet. Provet var vid insamling missfärgat och illaluktande och uppmätte depositioner på 0,2 g/ha för arsenik, 0,15 g/ha för kadmium, 0,4 g/ha för krom, 12,4 g/ha för koppar, 1,3 g/ha för nickel, 0,9 g/ha för bly och 55 g/ha för zink. Därför misstänks juniprovet ha varit kontaminerat och resultatet presenterade i denna rapport för juni månad har därför ersatts med uppskattade depositioner med hjälp utav interpolation utifrån kringliggande resultat för maj och juli. Efter justering av juniprovet uppmättes

högst metalldepositioner generellt under juli månad för arsenik (0,11 g/ha), kadmium (0,071 g/ha), krom (0,11 g/ha), koppar (6,1 g/ha), nickel (0,50 g/ha) och bly (0,5 g/ha). Högst zinkdeposition uppmättes i maj (31 g/ha).

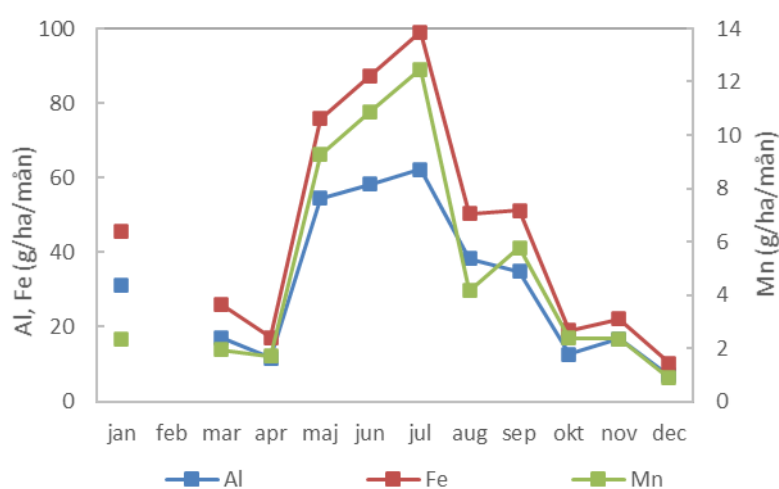


Figur 1. Månadsvisa metalldepositioner (blå staplar) och nederbördsmängder (grå prickade linjer) vid Visingsö under 2021.

Lägst metalldeposition uppmättes för samtliga metaller under februari då det var väldigt låg nederbördsmängd. Generellt uppmättes lägre

metalldeposition under januari till mars och från oktober till december. Liknande mönster går också att se i tidigare års mätningar på Visingsö (se Visingsörapporten från 2019 och 2020; Nerentorp & Pihl Karlsson, 2020+2021). Månadsvariationerna för 2021 års data jämförs också med tidigare års mätningar på Visingsö i kapitel 3.

Månadsvisa metalldepositioner för aluminium, järn och mangan presenteras i Figur 2. Månadsdepositionen korrelerar väl mellan de tre metallerna, vilket troligtvis främst beror på att de emitteras från liknande källor. Möjligtvis rör det sig om lokal spridning av jordpartiklar via markerosion och/eller en långväga lufttransport av samtliga metaller (Alastuey m.fl., 2016).



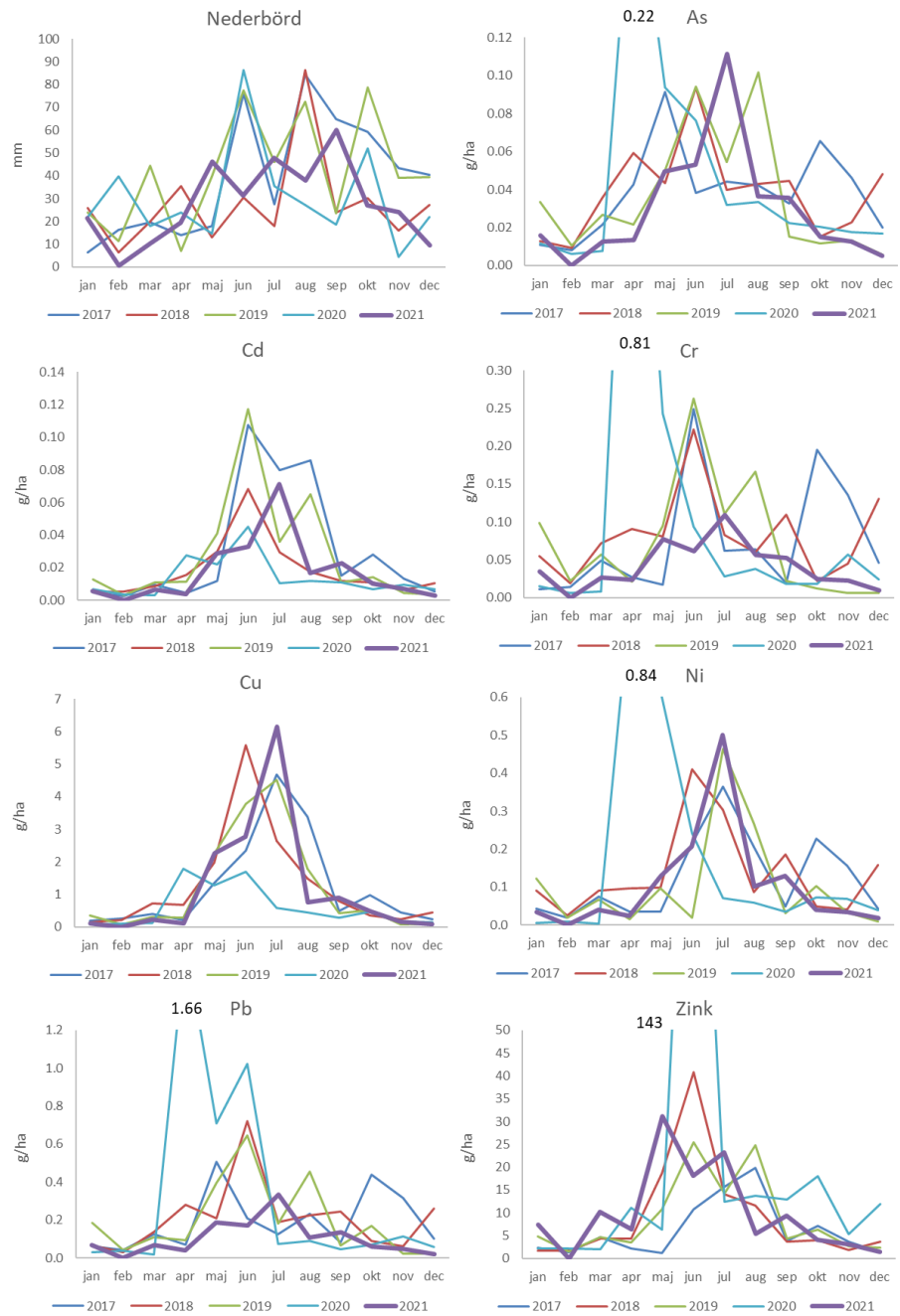
Figur 2. Månadsvisa metalldepositioner av aluminium (blå linje), järn (röd linje) och mangan (grön linje) under 2021.

Månadsvis jämförelse av mätresultat vid Visingsö med tidigare års mätningar

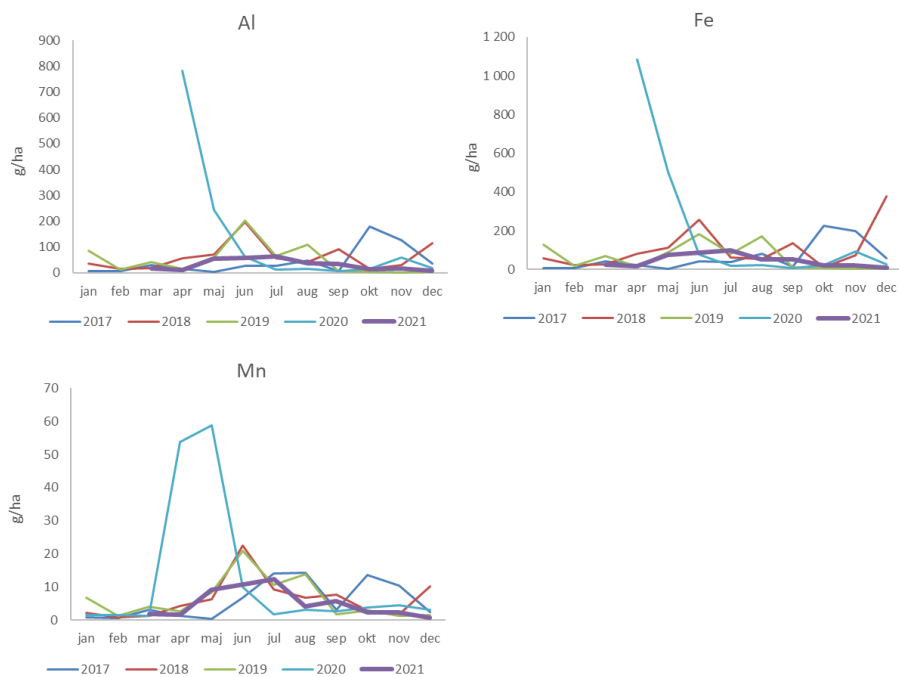
Månadsvisa metalldepositioner och nederbördsmängder för 2021 jämförs med tidigare års mätningar från 2017 i Figur 3. Den månadsvisa nederbördsmängden har varierat mellan de olika mätåren från 2017, men generellt har det varit högre nederbörd under sommarhalvåret än under vinterhalvåret. För majoriteten av metallerna syns en tydligt liknande säsongsvariation med högre deposition under sommaren för mätåren 2017–2021. Speciellt tydlig månadsvariation observerades för kadmium och koppar där de tydligt har haft en ökad deposition från maj till augusti.

Jämförelser av månadsvariationer gjordes även för aluminium, järn och mangan för perioden 2017 till 2020 (Figur 4). För dessa metaller kunde

inga tydliga säsongsvariationer observeras mellan mätåren. Påtagligt är dock att de är tydligt samvarierande, vilket också syns väl i Figur 2.



Figur 3. Månadsvisa nederbördsmängder (mm) samt nedfall (g/ha) av arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), bly (Pb) och zink (Zn) från mätningarna i nederbörden över öppet fält på Visingsö under perioden januari 2017 till december 2021.



Figur 4. Månadsvisa nedfall (g/ha) av aluminium (Al), järn (Fe) och mangan (Mn) från mätningarna i nederbörden över öppet fält på Visingsö under perioden januari 2017 till december 2021.

Jämförelse med bakgrundsstationer och omkringliggande platser för 2021 och tidigare års mätningar

I detta avsnitt presenteras årsvisa resultat av nederbördsmängd och metalldepositioner på Visingsö jämfört med motsvarande mätresultat från andra svenska mätstationer. Mätstationerna som används för jämförelsen används inom den nationella miljöövervakningen där IVL (på uppdrag av Naturvårdsverket) bland annat utför mätningar av metaller i nederbörd.

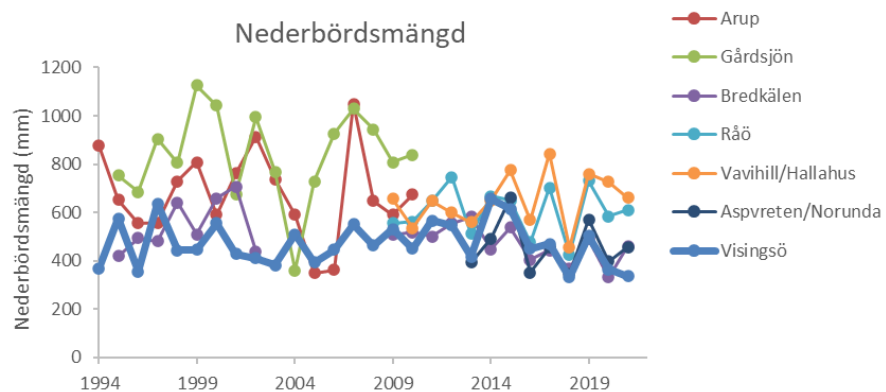
Mätplatserna är/var:

- Arup och Vavihill/Hallahus i Skåne: mellan 2009 och 2015 ersattes Arup med Vavihill, belägen ca 45 km nordväst om Arup. Första januari 2016 ersattes Vavihill i sin tur med Hallahus, en mätplats ca 1 km norr om Vavihill.
- Gårdsjön i Bohuslän: mätningarna vid Gårdsjön, i det inre av Bohuslän, ersattes 2009 med mätningar vid Råö.
- Råö i Halland: är en kustnära mätstation i norra Halland, belägen ca 76 km söder om Gårdsjön.
- Bredkälén i Jämtland: Mätningarna i Bredkälén avslutades 2002 men återupptogs 2009.

- Aspvreten/Norunda: Aspvreten som användes mellan 2013 till 2018 ligger i Södermanlands län. Norunda, ersatte Aspvreten, och ligger i Upplands län, ca 30 km norr om Uppsala.

Provtagarna som används inom den nationella miljöövervakningen har något mindre radie än de som används på Visingsö, samt att rutinerna för provbyte skiljer sig något åt, vilket gör att mätresultaten inte direkt kan jämföras. Resultaten för koppardeposition från Arup, Gårdsjön och Bredkälén under perioden 1995 – 1997 redovisas inte på grund av misstänkt kontaminering.

Årsvis nederbördsmängd visas för åren 1994–2021 i Figur 5. Här jämförs även nederbördsmängden på Visingsö med mätresultat från de andra svenska stationerna.



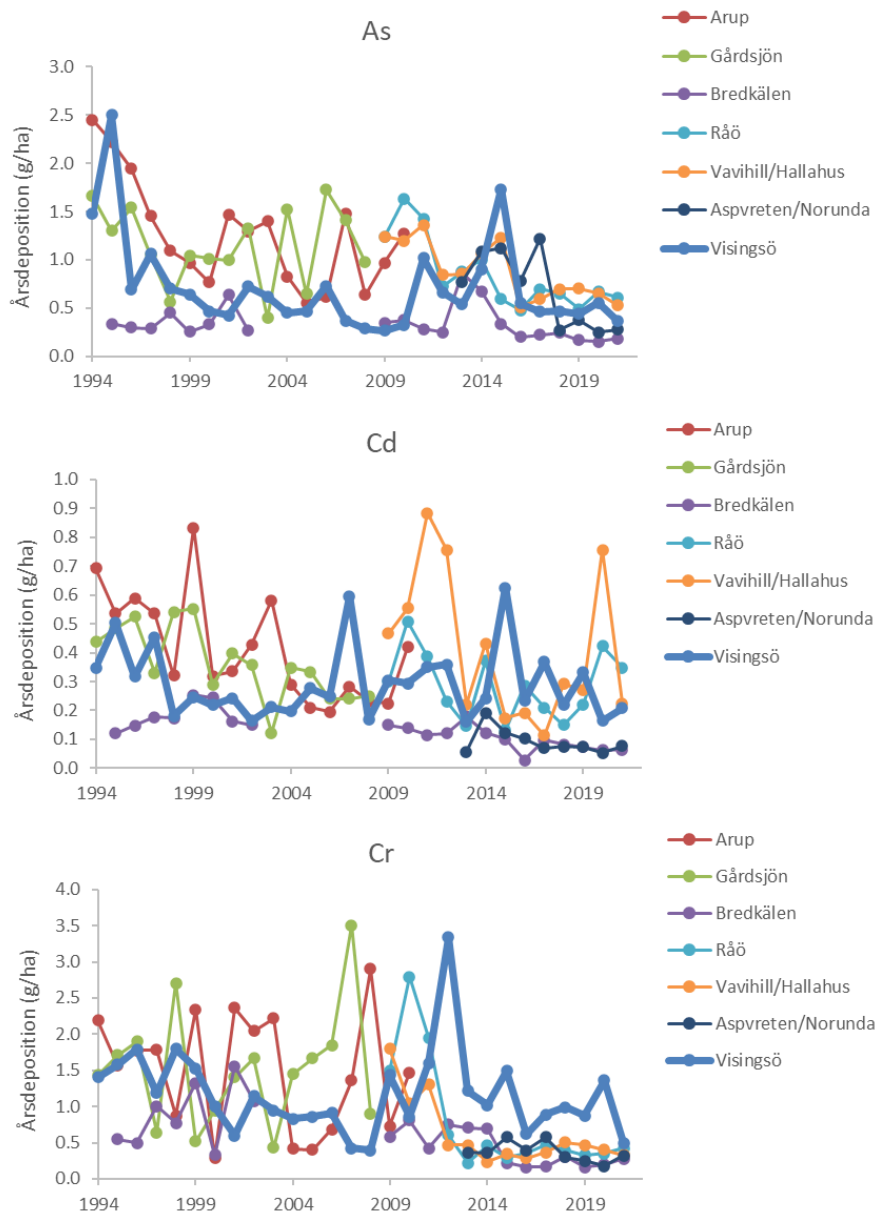
Figur 5. Årsvis nederbördsmängd (mm) från kalenderår 1994 till 2021 över öppet fält på Visingsö, jämfört med mätningar vid stationerna Arup, Gårdsjön, Bredkälén, Råö, Vavihill/Hallahus, samt vid Aspvreten/Norunda.

Jämfört med de andra stationerna är nederbörden vid Visingsö (blå tjock linje) relativt låg. Trendanalyser med Mann-Kendall-metodik visade att endast vid Bredkälén (lila linje) har en signifikant minskning av nederbörden observerats mellan 2009 och 2021 med 30 %.

I Figur 6 presenteras årsvis deposition för metallerna arsenik, kadmium och krom på Visingsö och vid de andra svenska bakgrundsstationerna för jämförelse. På Visingsö var depositionen av arsenik och krom lägre jämfört med förra årets mätning. Depositionen av kadmium var dock något högre.

För de svenska bakgrundsstationerna kan man generellt utläsa en geografisk trend med lägst metalldepositioner vid den nordligaste stationen Bredkälén (lila linje) och högst vid de sydligare stationerna Vavihill/Hallahus (orange linje) och Råö (ljusblå linje). För arsenik och kadmium är depositionen vid Vavihill/Hallahus och Råö högre än på Visingsö men för krom är depositionen sedan 2011 högst på Visingsö jämfört med de övriga stationerna. Trendanalyser med Mann-Kendall visade inga signifikanta skillnader i deposition av arsenik, kadmium och krom på Visingsö, varken för hela mätperioden 1994–2021, de senaste 20 åren (2001–2021)

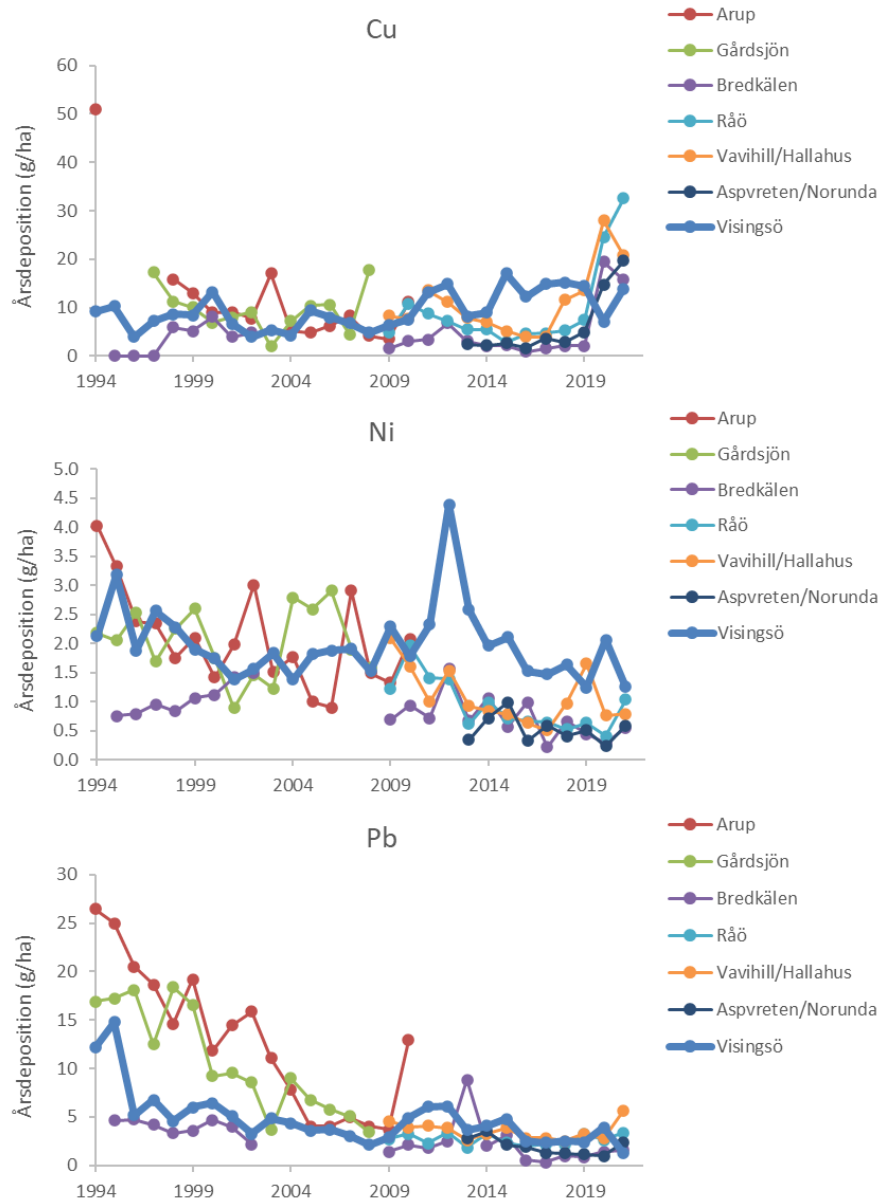
eller de senaste 12 åren (2009–2021). Vid Bredkålen har depositionen av arsenik, kadmium och krom signifikant minskat med respektive 48, 60 och 75% från 2009–2021. För samma tidsperiod har arsenikdepositionen minskat med 61% vid Råö och med 55% vid Vavihill/Hallahus.



Figur 6. Årsdepositionen med nederbörden till öppet fält av arsenik (As), kadmium (Cd) och krom (Cr) på Visingsö jämfört med mätningar vid stationerna Arup, Gårdsjön, Bredkålen, Råö, Vavihill/Hallahus, samt vid Aspvreten/Norunda.

Årsdepositionen av koppar, nickel och bly på Visingsö och vid svenska bakgrundsstationer visas i Figur 7. Jämfört med förra årets mätningar var koppardepositionen på Visingsö högre 2021. Mellan 2012 och 2019 var koppardepositionen högre på Visingsö jämfört med de andra stationerna, men på grund av den kraftigt ökade depositionen vid bakgrundsstationerna från 2019 är i dagsläget koppardepositionen på Visingsö lägre. Med trendanalys (Mann-Kendall) kan man dock se att även vid Visingsö har

koppardepositionen ökat, sett över en längre tidsperiod. För hela mätperioden (1994–2021) har koppardepositionen på Visingsö ökat med 113 % och de senaste 21 åren har det ökat med 242 %. Från 2009 till 2021 ses dock ingen signifikant skillnad. Trots den kraftigt ökade koppardepositionen vid svenska bakgrundsstationer de senaste två åren så visar trendanalysen för perioden 2009 till 2021 inte på någon signifikant ökning. Vad den kraftiga ökningen från 2019 vid svenska bakgrundsstationer beror på är ännu inte utrett.

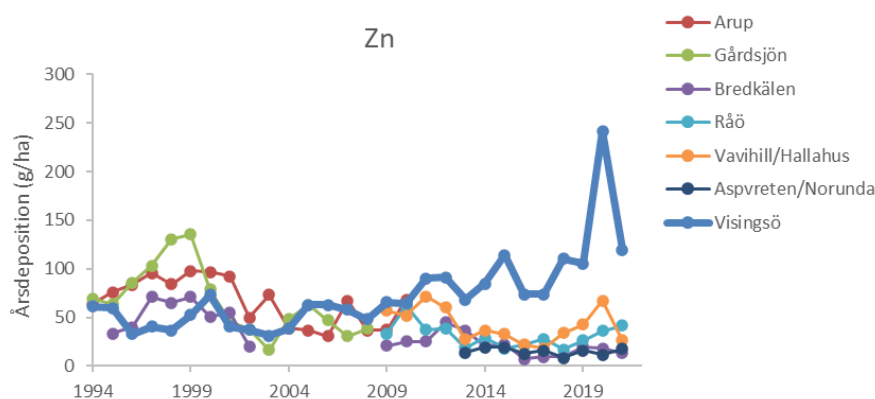


Figur 7. Årsdepositionen med nederbörden till öppet fält av koppar (Cu), nickel (Ni) och bly (Pb) på Visingsö jämfört med mätningar vid stationerna Arup, Gårdsjön, Bredkålen, Råö, Vavihill/Hallahus, samt vid Aspvreten/Norunda.

Depositionen av nickel har varit lägre 2021 på Visingsö jämfört med 2020. Nickeldepositionen vid svenska bakgrundsstationen minskar tydligt från 2009 till 2021 och trendanalyser (Mann-Kendall) visar på signifikanta minskningar med 47 % vid Bredkålen, 65 % vid Råö och 60 % vid Vavihill/Hallahus. Denna minskande trend återfanns inte på Visingsö utan depositionsnivåerna håller sig på en stadig nivå utan några signifikanta skillnader för någon av de undersökta tidsperioderna. Därför är nickeldepositionen högre på Visingsö jämfört med vid de andra stationerna och har så varit sedan 2010.

Blydepositionen har minskat på Visingsö från 2020 till 2021 och är 2021 lägre än vid de andra svenska bakgrundsstationerna. Statistiskt sett (Mann-Kendall) har depositionen av bly på Visingsö minskat för hela mätperioden från 1994 till 2021 med 54 %. Ingen signifikant skillnad har observerats från 2001 eller från 2009. Inte heller vid Bredkålen, Råö eller Vavihill/Hallahus har trendanalysen visat någon signifikant minskning av bly med nederbörd för perioden 2009–2021.

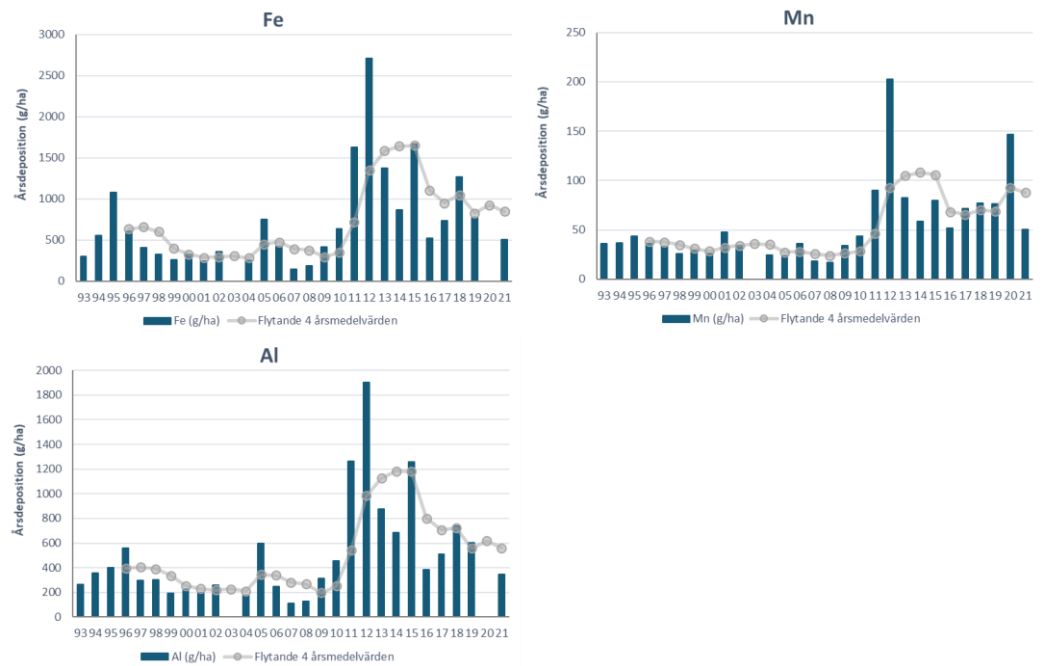
Den årsvisa depositionen av zink på Visingsö och vid andra svenska mätstationer presenteras i Figur 8. Jämfört med 2020 års mätning har zinkdepositionen på Visingsö minskat under 2021 till liknande nivå som under 2019. Dock är zinkdepositionen högre på Visingsö jämfört med vid de andra stationerna och statistiskt sett (Mann-Kendall) har depositionen av zink ökat med 177 % på Visingsö från 1994 till 2021. De senaste 20 åren har zinkdepositionen ökat med 195 % och från 2009 ökade zinkdepositionen med 89 %. Vid de andra mätstationerna verkar zinkdepositionen minska (Figur 8). Dock visade trendanalysen endast en signifikant minskning (-49%) vid Bredkålen under perioden 2009–2021.



Figur 8. Årsdepositionen med nederbörden till öppet fält av zink (Zn) på Visingsö jämfört med mätningar vid stationerna Arup, Gårdsjön, Bredkålen, Råö, Vavihill/Hallahus, samt vid Aspveten/Norunda.

De årsvisa depositionerna av järn, mangan och aluminium vid Visingsö presenteras i Figur 9. Här visas även 4-års glidande medelvärden som beräknats för att kunna urskönja eventuella trender eftersom deposition från år till år kan skilja mycket. År 2003 fanns mätningar för de tre metallerna endast för mars – december och under 2020 saknades data för januari – mars för järn och aluminium. Depositionen för perioden mars –

december 2003 var 957 g/ha för järn, 71,4 g/ha för mangan och 662 g/ha för aluminium. Depositionen av järn och aluminium under perioden april – december 2020 var 1853 g/ha, respektive 1213 g/ha. Eftersom juniprovet år 2021 troligtvis var kontaminerat har data för juni uppskattats genom interpolation av närliggande månaders värden (maj och juli). Jämfört med 2019 års mätningar har årsdepositionerna av de tre metallerna minskat år 2021. De tre metallerna uppvisar slående likheter i årsdeposition från 1993 till 2021.



Figur 9. Årsdepositionen med nederbörden till öppet fält av järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al) under perioden 1993 – 2021 (staplar). Prickade grå linjer presenterar flytande fyraårsmedelvärden. För år 2003 för alla tre metallerna och för järn och aluminium år 2020 saknas några månadsdata. Då det är svårt att jämföra årsdepositionen för dessa år presenteras inte dessa år i figuren för berörda metaller.

Ursprungsundersökning med Enrichment Factors

Enrichment Factors, eller 'anrikningsfaktorer', (EF-värden) kan användas för att uppskatta om en uppmätt metall härrör från en naturlig eller en antropogen källa. EF-värdet visar förhållandet mellan uppmätta metallhalten i deposition och halten av metallen i berggrunden, jämfört med en referensmetall (järn). Om EF-värdet överstiger 10 anses metallen ha härrört från en lokal eller avlägsen antropogen källa. Mer information om beräkning av EF-värden presenteras i Kapitel 6.

Tabell 1 visar beräknade EF-värden för de metaller som mättes på Vingsö under 2021. Vid beräkning av EF-faktorer har, i avsaknad av

referenshalter från Visingsö, medelvärden som gäller för berggrunden kring Vättern använts som referenshalter.

Tabell 1. Beräknade Enrichment Factors (EFs) för metaller i nederbörd på Visingsö under 2021. För metodik, se Kapitel 6.

As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	28	0.5	13	1	2	40

Enligt Tabell 1 har kadmium, koppar och zink EF-värden som överstiger 10, vilket indikerar att de kan ha varit förhöjda i deposition på grund av mänskliga utsläpp från någon typ av lokal eller avlägsen industri. Generellt sägs förhöjda halter av krom, mangan och nickel i luft vara förknippade med metallurgiska processer (nickel härrör även från fartygsemissioner) samt att arsenik och bly kan härröra från högtemperaturprocesser (Alastuey m.fl., 2016). Ingen av dessa metaller visade dock höga EF-värden. De metaller som har låga EF-värden trots att det uppmättes höga depositioner misstänks därför härröra från naturliga källor så som lokal erosion eller exploatering av berggrund. Kanske kan de avancerade statistiska metoder som föreslås av Reimann och Caritat (2005) appliceras för att vidare förstå metallernas ursprung.

Metoder

Provtagningen på Visingsö sker på månadsbasis. Från början användes två olika provtagare under sommar- respektive vinterperioden. Sommarprovtagaren utgjordes av en tratt och en 2-liters dunk, medan en öppen 2-liters hink användes under vintern. Under vissa perioder förekom tidigare problem med indunstning av nederbörd i provtagaren, vilket kunde resultera i underskattade volymer och därigenom en överskattning av metallkoncentrationerna. Detta bör dock inte ha påverkat den beräknade depositionen nämnvärt. Sedan december 2001 används en s.k. Büchnertratt av polypropenplast och en 2-liters dunk för insamling av nederbörd såväl sommar som vinter. Med den här insamlingsmetoden minskar avdunstningen. Tratten har höga kanter och är därför lämpad för insamling av både regn och snö. Att utrustningen skiljer sig mellan mätningarna av metaller och mätningarna av försurande och övergödande ämnen medför att en skillnad i nederbördsmängd kan uppstå.

De årsmedelkoncentrationer av metaller i nederbörd som presenteras i rapporten är viktade med avseende på nederbörd enligt,

$$C_{\text{medel}} = \frac{\sum (D_{\text{prov}} \times C_{\text{prov}})}{\sum (D_{\text{prov}})} \quad (1),$$

där D_{prov} och C_{prov} är månadsprovets nederbördsmängd (mm) respektive metallkoncentration.

Provbyten har utförts av Ingemar Zander som är bosatt på Visingsö. Vid provbyte byts hela insamlaren och skickas till IVL i Göteborg för

syralakning och analys. Efter två veckors syralakning av respektive prov analyseras de med avseende på metaller med ICP-MS.

För trendanalys används Mann-Kendall-metodik för att påvisa signifikanta linjära trender (Mann, 1945). Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet.

Berikningsfaktorer eller Enrichment Factors (EF) kan användas för att uppskatta betydelsen av antropogen påverkan av metallerhalter i luft och nederbörd utöver den som sker till följd av lokal erosion och suspension av partiklar. Förekomst av aluminium, järn och mangan i nederbörd anses till stor del bero på den lokala förekomsten av dessa metaller i jordskorpan och är endast till en mindre del en effekt av mänsklig påverkan.

$$EF = \frac{(C_x / C_{ref})_{nederb.}}{(C_x / C_{ref})_{berggr.}} \quad (2)$$

Enrichment Factors beräknas enligt ekvation (2), där $(C_x / C_{ref})_{nederb.}$ är koncentrationen av den undersökta metallen (C_x) i berggrunden dividerat med motsvarande halt av referensmetallen (Zoller m.fl., 1974; Reimann och Caritat, 2005). Vid beräkningarna som visas har järn använts som referens. Halterna av järn och de undersökta metallerna i jordskorpan har hämtats från SGU:s databaser, som finns tillgängliga i Öppna data Markgeokemi, analysdata - grundämnen i morän, och utgörs av medelvärden av provplatser kring Vättern.

Referenser

Alastuey, A., m.fl. 2016. Geochemistry of PM₁₀ over Europe during the EMEP intensive measurement periods in summer 2012 and winter 2013. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, pp. 6107–6129.

Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend: *Econometrica* v. 13, p. 245–259.

Nerentorp, M., Pihl Karlsson, G. 2010. Nederbördskemisk undersökning av metaller på Visingsö 2020. På uppdrag av Vätternvårdsförbundet.

Nerentorp, M., Pihl Karlsson, G. 2020. Nederbördskemisk undersökning av metaller på Visingsö 2019. På uppdrag av Vätternvårdsförbundet.

Reimann, C., de Caritat, P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 337 (2005) 91–107.

Zoller, W.H., Gladney, E.S. och Duce, R.A. 1974. Atmospheric Concentrations and Sources of Trace Metals at the South Pole. New Series, Vol. 183, No. 4121 (Jan. 18, 1974), pp. 198-200.

SGU:s hemsida. Öppna data Markgeokemi, analysdata - grundämnen i morän
<https://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/oppna-data/geokemi-oppna-data/markgeokemi-analysdata/>

PFAS i vatten och biota

Friederike Ermold, Vättermårdsförbundet

Sammanfattning

Vätterns ekosystem är – på grund av den långa omsättningstiden och näringsfattigheten – känsligt för persistenta miljögifter.

I Vättern övervakas halter av PFAS sedan 2017 i vatten och sedan 2018 i fisk (röding). I miljöövervakningsprogrammet som gäller sedan 2022 ingår analys av PFAS-halter i utsjön samt i utflödet och två tillflöden. Här redovisas även analys av PFAS i röding.

PFAS-halter i Vätterns vatten och i fisk överskrider vattenförvaltningens EQS för PFOS, men underskrider det kommande gränsvärdet för PFAS-4 för dricksvatten och saluföringsgränsvärdet för röding.

Den totala uppmätta mängden PFAS i fisk ligger i medel på 25,6 ng/g (median 19,6 ng/g), och 21,8 ng/g för PFAS-4.

I Vätterns ytvatten dominerar PFOS med nästan en fjärdedel av all uppmätt PFAS, följd av PFBA, PFOA, PFHxS och PFHxA. Summan PFAS var 3,95 ng/L och PFAS-4 2,02 ng/L (medelvärde 2021-22).

Inledning

Vätterns ekosystem är – på grund av den långa omsättningstiden och näringsfattigheten – känsligt för persistenta miljögifter. PFAS är ett samlingsnamn för en grupp av tusentals fluorerade organiska ämnen som har framställts industriellt. Många är så kallade PBT-ämnen: stabila, bioackumulerande och giftiga, det vill säga de bryts i princip inte ned och har fått stor spridning globalt i miljön.

PFAS-föreningar har bedömts att överskrida en ”planetär gräns” då ämnena är vidspridda, överskrider gränsvärden på många platser och föreningen är ”praktiskt irreversibel”(1).

PFAS-ämnen har använts utbredd sedan 1950-talet till exempel i industriella processer, för impregnering av kläder, i skönhetsprodukter, livsmedelsförpackningar, non-stick-stekpannor och skidvalla, samt i brandskum (2).

PFAS sprids till miljön under alla steg av dess livscykel. Från produktion (dock produceras PFAS inte i Sverige), till när PFAS-innehållande produkter framställs, när dessa produkter sen används och senare har slängts. PFAS används och har använts bredd och därför finns en stor mängd potentiella källor till PFAS i miljön (2). PFAS kan alltså läcka eller

släppas ut från industriella områden, med avloppsvatten och dagvatten, från deponier och förorenade områden som brandövningsplatser. En del kommer även luftvägens, det vill säga med regn eller snö.

I Vätterns tillrinningsområde finns tre större, kända punktkällor:

- Bottensjön (via Kärnebäcken, Karlsborgs flygplats)
- Munksjön (till stor del via Sandserydsån, Jönköpings flygplats)
- Huskvarnaån (via Nässjöån, olika källor)

Deposition (regn eller snö över Vätterns yta) är en relativ stor källa till PFAS, till exempel tillförs nästan hälften av all PFOS och PFOA genom deposition på vattenytan. För andra PFAS-ämnen kan andelen vara ännu större, upp emot 75% (3).

Gränsvärden finns för vissa PFAS-ämnen inom vattenförvaltningen (biota och ytvatten), samt sedan 2023 för livsmedel (saluföring av fisk, kräftor) och från och med 2026 för dricksvatten (tabell 1).

I Vättern övervakas halter av PFAS sedan 2017 i vatten och sedan 2018 i fisk (röding). I miljöövervakningsprogrammet som gäller sedan 2022 ingår analys av PFAS-halter i utsjön (2x5 gånger per år) samt i utflödet Motala ström och tillflödena Huskvarnaån och Munksjöes utlopp (4x per år). Fisk (abborre och röding) analyseras vårt tredje år, nästa gången 2023.

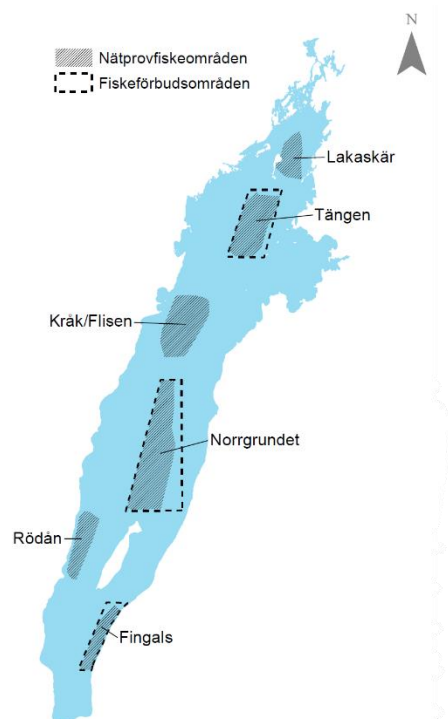
Tabell 1. Gränsvärden, rekommendationer och EQS (environmental quality standards) för PFAS-ämnen inom vattenförvaltning och för livsmedel. VF – Vattenförvaltningen; SLV – Livsmedelsverket.

Matris	Ämne	Värde	Källa	Kommentar
Vatten	PFOS	0,65 ng/L	VF	EQS, cykel 3
Vatten	PFAS-11	90 ng/L	VF	Motsvarar äldre åtgärdsgräns för dricksvatten, gäller endast vattenförekomster som är vattentäkt, cykel 3
Biota	PFOS	9,1 ng/g	VF	EQS, cykel 3
Vatten	PFAS-4	4 ng/L	SLV	Gäller utgående dricksvatten from 2026
Vatten	PFAS-21	100 ng/L	SLV	Gäller utgående dricksvatten from 2026
Biota (egenfångad)	PFAS-4	8 ng/g	SLV	Åtgärdsnivå, har tagits bort hösten 2023
Biota (saluföring)	PFAS-4, plus individuella PFAS	45 ng/g;	SLV	Artspecifik, för röding

Metodik

BIOTA

Röding har samlats in i samband med SLUs nätprovfiske i Vättern sommaren 2020, vid fyra lokaler: Lakaskär, Tängen, Kråk/Flisen och Norrgrundet. Endast honor och fiskar i konsumtionsstorlek analyserades (Tabell 2). Fiskarna slogs ihop till ett samlingsprov per lokal för muskel- och levervävnad och analyserades av Eurofins.



Figur 1. Provfiskelokaler i Vättern. Fisk har samlats in i de fyra centrala och norra områdena: Lakaskär, Tängen, Kråk/Flisen och Norrgrundet. Rödån och Fingals har inte fiskats under 2020.

Tabell 2. Antal fiskar per samlingsprov samt längd, vikt och ålder.

Lokal	År	Antal	Längd (mm, \pm SD)	Vikt (g, \pm SD)	Ålder (år, \pm SD)
Lakaskär	2020	7	581.6 (\pm 81.2)	1775 (\pm 708)	7.9 (\pm 1.3)
Tängen	2020	9	558.9 (\pm 65.9)	1642 (\pm 602)	7.8 (\pm 1.8)
Kråk*	2020	3	550.0 (\pm 94.8)	1500 (\pm 697)	7,5 (\pm 2.1)
Norrgrundet**	2020	4	609.5 (\pm 57.1)	2166 (\pm 613)	8,3 (\pm 0.5)

*Data för en individ saknas.

**Åldersdata saknas för en individ.

VATTEN

Vattenprover togs med vattenhämtare i 5 m djup (utsjö) och 0,5 m (vat-tendrag) i av labbet specificerade flaskor (se tabell 3). Proverna

analyserades hos SGS (PFAS-28). Ämnen som ingick i PFAS-paket skiljer sig mellan åren, till exempel har HPPFHpA endast analyserats 2021 och PFTTrDS endast 2022.

Tabell 3. Stationer för PFAS-provtagning 2021-22.

Station	Typ	Nivå	Antal mätningar [2021; 2022]
Edeskvarnaån	Utsjö	5 m	2; 4*
Jungfrun	Utsjö	5 m	2; 4*
Motala ström	Utlopp	0,5 m	2; 4
Huskvarnaån	Tillflöde	0,5 m	2; 4
Munskjöns utlopp	Tillflöde	0,5 m	2; 4

*En femte provtagning enligt program missades.



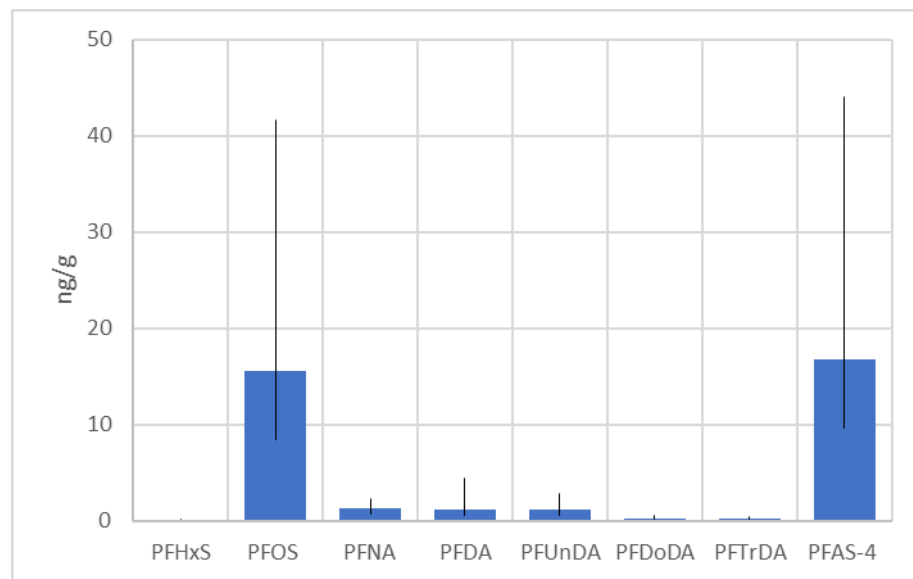
Figur 2. Provtagningsstationer för PFAS i vatten. Svart linje = gräns för tillrinningsområdet.

Resultat

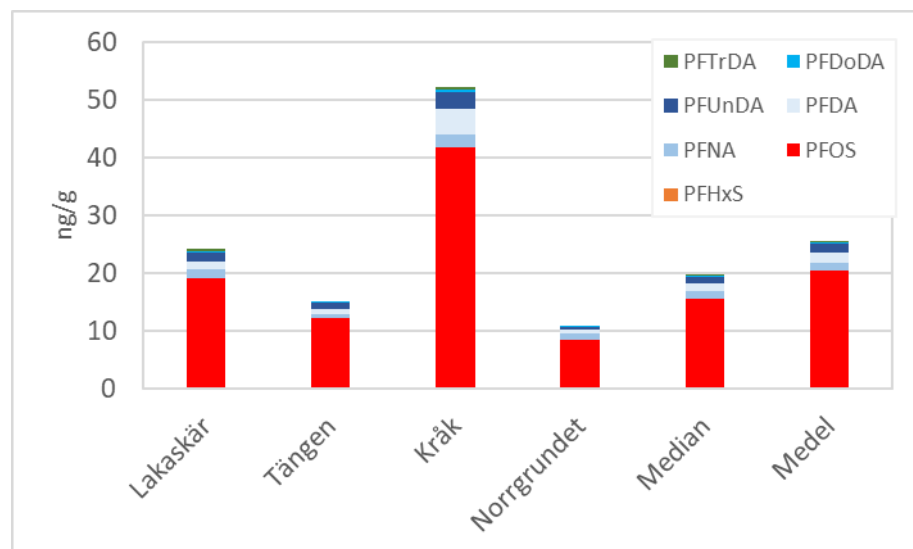
BIOTA

Sju PFAS-ämnen har påvisats i muskelvävnad, ytterligare fyra har påvisats i levervävnad. Av de sju utgör PFOS majoriteten med 78%, följd av carboxylsyrorerna PFDA, PFNA och PFUnDA (5-7% per ämne), resterande ämnen utgör endast en mycket liten andel av den totala mängden PFAS (figur 3).

I levervävnad har ytterligare fyra PFAS-ämnen påvisats över LOQ: PFHpS (median 0,67 ng/g), PFDS (median 0,12 ng/g), PFHpA (median <0,1 ng/g), och PFOA (median <0,3 ng/g).



Figur 3. Median (samt max och min-värden) för PFAS-ämnen i fyra samlingsprov från Vättern.



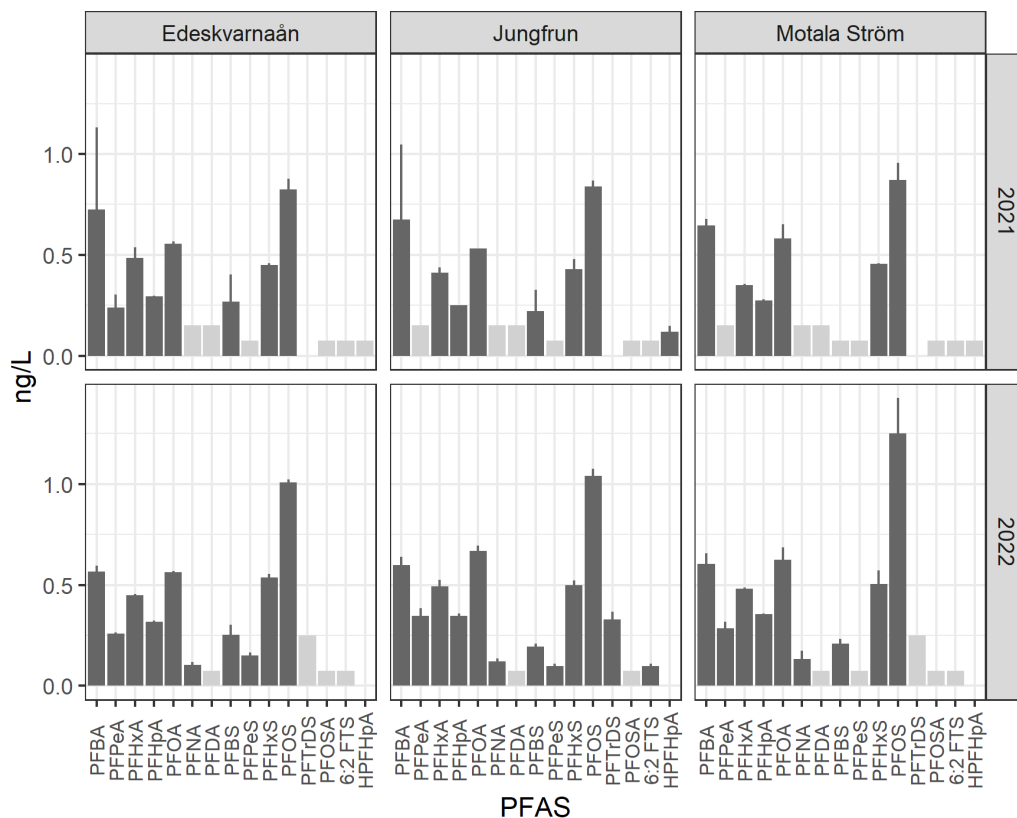
Figur 4. PFAS-halt i fyra samlingsprov från Vättern, samt median och medel.

Den totala uppmätta mängden PFAS i samlingsproven ligger i medel på 25,6 ng/g (median 19,6 ng/g) och varierar mellan 10,9 och 52,4 ng/g (figur 4). Provet från Kråk sticker ut, medan de resterande tre proverna norr och söder om Kråk är mer jämlika.

Tabell 4. Uppmätta halter vs gränsvärden; ' och gul-markerad - överskrider EQS; * och röd - överskrider saluföringsgränsvärdet. Alla enheter i ng/g.

Lokal	PFHxS	PFOS	PFOA	PFNA	PFAS-4
Gränsvärde	1,5	35	8	8	45
EQS	-	9,1	-	-	-
Lakaskär	0,15	18,9'	<0,3	1,58	20,7
Tängen	<0,1	12,2'	<0,3	0,68	12,9
Kråk	0,14	41,6*	<0,3	2,30	44,1
Norrgrundet	0,14	8,4	<0,3	1,04	9,6
Median	0,14	15,6'	<LOQ	1,31	16,8
Medel	0,23	20,3'	<LOQ	1,40	21,8

VATTEN

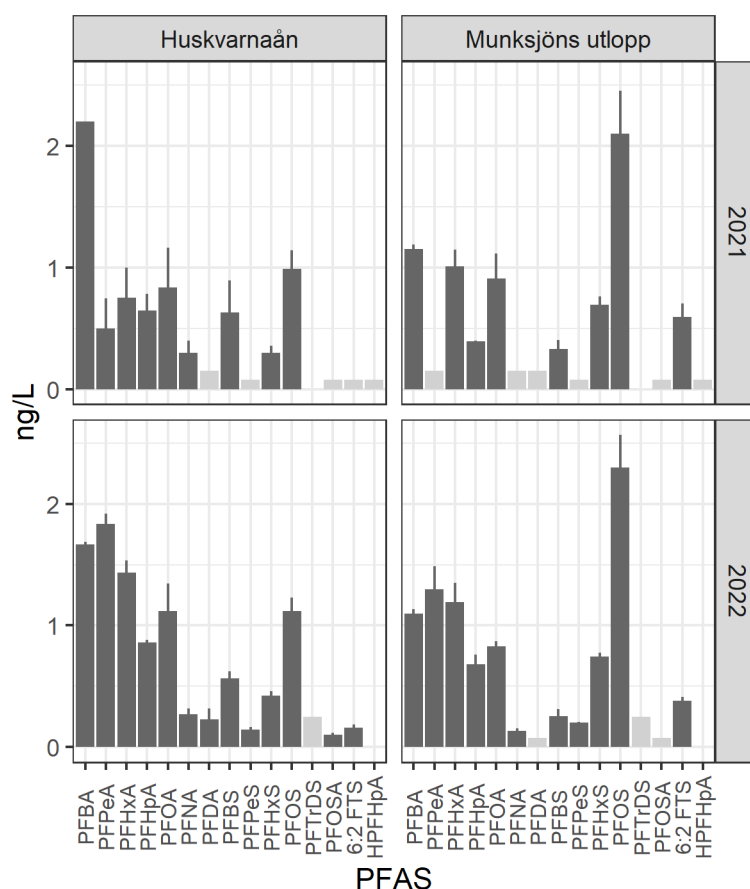


Figur 5. Uppmätta PFAS-halter i Vätterns utsjö (Edeskvarnaån NV och Jungfrun NV) samt i utflödet Motala ström åren 2021 och 2022. Medelvärden och standardfel. Staplar i ljusgrått: ämnet har inte uppmätts under året, redovisar 0,5*LOQ. PFTrDS har bara analyserats 2022, och HPFHpA endast 2021.

I Vätterns ytvatten har 13 olika PFAS-ämnen uppmätts minst en gång: sex PFCAs (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA), fem PFSA:s (PFBS, PFPeS, PFHxS, PFOS, PFTrDS), dessutom HPFHpA och 6:2 FTS (figur 5).

Summan PFAS var 3,95 ng/L (medelvärde 2021-22). Fem ämnen utgör tillsammans 77,5% av de uppmätta ämnena, där PFOS är det dominerande ämnet med 23,5%. Därefter följer PFBA (15,4%), PFOA (14,7%), PFHxS (12,2%) och PFHxA (11,6%).

Ämnessammansättning och halter är i samma nivå vid båda utsjöstationer, och i utflödet Motala ström.



Figur 6. Uppmätta PFAS-halter i Vätterns tillflöden Huskvarnaån och Munksjöns utflöde åren 2021 och 2022. Medelvärden och standardfel. Staplar i ljusgrått: ämnet har inte uppmätts under året, redovisar 0.5*LOQ. PFTrDS har bara analyserats 2022, och HPFHpA endast 2021.

I de undersökta tillflödena – Huskvarnaån och Munksjöns utflöde – har 13 PFAS-ämnen uppmätts: sju PFCAs (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA och PFDA) och fyra PFSA:s (PFBS, PFPeS, PFHxS, PFOS), dessutom 6:2 FTS och PFOSA (figur 6).

Till stor del förekommer samma PFAS-ämnen i tillflöden, utsjön och utflöde. PFDA och PFOSA har endast påvisats i Huskvarnaån, PFTrDS och HPFHpA endast i utsjön (station Jungfrun NV).

Summan PFAS ligger på 8,5 ng/L i Huskvarnaån och 8,1 ng/L i Munksjöns utflöde. PFOS dominerar i Munksjöns utflöde (29% av alla ämnen), i Huskvarnaån utgör PFOS endast 12%, istället förekommer huvudsakligen PFBA och andra PFCAs.

Tillflödena skiljer sig mer i ämnessammansättning och halter – både mellan stationer och olika åren – än vad utsjöstationerna gör.

Tabell 5. Årsmedelhalter vs gränsvärden; Röd-markerade värden överskrider EQS eller gränsvärde för dricksvatten. Alla enheter i ng/L.

Lokal		PFOS	PFAS-4
Gränsvärde		-	4
EQS		0,65	-
2021			
Edeskvarnaån NV	Utsjö	0,83	1,83
Jungfrun NV	Utsjö	0,84	1,80
Motala ström	Utflöde	0,87	1,91
Huskvarnaån	Tillflöde	0,99	2,35
Munksjön ut.	Tillflöde	2,10	3,71
2022			
Edeskvarnaån NV	Utsjö	1,01	2,15
Jungfrun NV	Utsjö	1,04	2,28
Motala ström	Utflöde	1,05	2,20
Huskvarnaån	Tillflöde	1,05	2,53
Munksjön ut.	Tillflöde	2,55	4,24

Diskussion

PFAS-halter i Vätterns vatten och i fisk överskrider vattenförvaltningens EQS för PFOS (tabell 4 och 5).

Vättern är råvattentäkt för mer än 300.000 personer och alla ytvattenprover underskrider det kommande gränsvärdet för utgående dricksvatten (4 ng/L PFAS-4, gäller från 2026) (tabell 5).

I Vätterns ytvatten dominerar PFOS med nästan en fjärdedel av all uppmätt PFAS, följd av PFBA, PFOA, PFHxS och PFHxA. PFOS har tidigare använts bland annat i brandskum och det finns flera kända förorenade områden där brandskum innehållande PFOS har använts i övningar eller skarpt läge. Även PFOA har använts bredd, bland annat till ytbehandling, i hushållsprodukter och brandskum (4). Sedan dessa ämnen

reglerades har man ersatt dem med homologer med kortare kolkedjor (2) som PFHxS, PFHxA och PFBA. Alla fem ämnen är även nedbrytningsprodukter av andra PFAS (2).

PFBA har i andra undersökningar visats vara den vanligast förekommande PFAS och hittades i nästan alla ytvattenprov (till exempel (5)). Ämnet sprids också lätt med regn och hade den näst högsta koncentrationen i regnvatten över Vättern efter TFA (3).

Ämnenas vattenlöslighet påverkar också deras potential att spridas till Vättern: ju kortare kolkedjan – som PFBA – desto mer vattenlös, dessutom är PFCAs mer vattenlösliga än PFASs vid samma kolkedjalängden (2).

I Munksjöns utflöde dominerade PFOS. I sjöns tillrinningsområde ligger brandövningsplatsen vid Jönköpings flygplats, därifrån sprids PFOS via Sandserydsån till Munksjön. I Huskvarnaån förekommer jämförelsevis mer PFBA och andra PFCAs, som tyder på en komplexare föroreningsbild.

Skillnader mellan åren är mer markant i tillflödena än i utsjön. En anledning är att variation i nederbörd mellan åren påverkar utsläppen till och halter i vattendragen mer direkt än i Vättern med sin långa omsättnings-tid.

Många PFAS-ämnen bioackumulerar i vävnad, och ett flertal har påvisats biomagnifera i akvatiska näringsväv (6), det vill säga att toppkonsumenter har högre halter än arter längre ned i näringskedjan. Dessutom påverkar födoval och uppehållsområde (och dess närhet till föroreningskällor) PFAS-halter i kroppen (2).

I de undersökta fiskarna förekom huvudsakligen PFOS (78%) följd av de långkedjade PFCAs PFDA, PFNA och PFUnDA. PFOS förekom också i relativt höga halter i vatten, men PFNA uppmättes bara i enstaka prover och i låga halter medan de andra ämnena uppmättes inte i utsjön.

PFAS-halter i fisk speglar endast till viss del ämnenas halter i vatten, och styrs även av deras bioackumulationspotential. Bioackumulation ökar med kedjelängden och PFASs som PFOS bioackumulerar till högre grad än PFCAs (2). PFOS, PFDA, PFNA och PFUnDA har alla betydligt högre bioakkumulationsfaktorer (BAF) än PFBA, PFOA, PFHxA och PFHxS som (tillsammans med PFOS) utgjorde majoriteten PFAS i ytvatten (6).

Fiskar från Vättern uppvisar generellt relativt höga halter av persistenta organiska miljögifter, som dioxiner och PCBer. Halter är ofta betydligt högre än vad som skulle förväntas baserade på endast vattenhalter. Anledningen är Vätterns karakteristiskt låga näringshalter och den resulterande låga biomassan, som medför att utspädning genom biomassa och

andra processer som begränsar anrikning i biota (7) sker i mindre utsträckning än i meso- eller eutrofa sjöar.

Fisk fångade på lokalen Kråk innehöll mycket mer PFAS än fisk från alla andra lokaler. Lokalen ligger söder om Bottensjöns mynning, som är recipient av vatten från förorenade områden på Karlsborgs flygplats (via Kärnebacken). PFAS-transporter via Bottensjön är i samma storleksordning som via Munksjöns utlopp (3), men inga fiskar från Södra Vättern analyserades. Samlingsprovet från Kråk uppgick till endast tre individer (tabell 2), det är därför osäkert hur representativt resultatet är. Ytterligare analyser av fisk från Kråk behövs för att verifiera resultaten.

Tabell 6. Mängd fisk en person kan äta utan att överskrida TVI för PFAS-4 (4,4 ng/kg och vecka).

Lokal	PFAS-4 [ng/g]	Vuxen (70 kg) [g fisk/vecka]	Barn (20 kg) [g fisk/vecka]
Lakaskär	20,7	14,9	4,3
Tängen	12,9	23,9	6,8
Kråk	44,1	7,0	2,0
Norrgrundet	9,6	32,1	9,2
Median	16,8	18,3	5,2
Medel	21,8	14,1	4,0

Röding i denna undersökning underskrider gällande saluföringsgränsvärdet för PFAS-4. Samlingsprovet från Kråk överskred dock gränsvärdet för PFOS (tabell 4). Alla prov överskrider dock Livsmedelsverkets tidigare åtgärdsnivå på 8 ng/g för PFAS-4 i egenfångad fisk, som togs fram i väntan på en risk- och nyttovärdering av fisk från den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA) (8). EFSA rekommenderar som hälsobaserad riktvärde ett TVI (tolerabelt veckointag) på 4,4 ng PFAS-4 per kg kroppsvikt (9). En vuxen på 70 kg kan i genomsnitt endast äta 14 g röding per vecka utan att överskrida TVI, för barn (20 kg) är motsvarande siffra 4 g (tabell 6). Länsstyrelserna runt Vättern har gått ut med information om förhöjda halter PFOS i Vätternröding i början på 2022 (10).

Referenser

- (1) Cousins, Ian T., Jana H. Johansson, Mathew E. Salter, Bo Sha, and Martin Scheringer. 2022. Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) *Environmental Science & Technology* 2022 56 (16), 11172-11179. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- (2) Kemikalieinspektionen. 2021. Kunskapssammanställning om PFAS. PM 1/21
- (3) Björnsdotter, Maria K., Leo W. Y. Yeung, Anna Kärrman, and Ingrid Ericson Jogsten. 2022. Mass Balance of Perfluoroalkyl Acids, Including Trifluoroacetic Acid, in

- a Freshwater Lake. *Environmental Science & Technology* **2022** 56 (1), 251-259.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04472>
- (4) Kemikalieinspektionen. 2015. Förekomst och användning av högfluorerade ämnen och alternativ. Rapport 6/15
- (5) Länsstyrelsen Stockholm. 2022. Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS) i sjöar och vattendrag i Stockholms län. Fakta 2022:8.
- (6) Burkhard, L.P. (2021), Evaluation of Published Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Data for Per- and Polyfluoroalkyl Substances Across Aquatic Species. *Environ Toxicol Chem*, 40: 1530-1543.
<https://doi.org/10.1002/etc.5010>
- (7) Per Larsson, Agneta Andersson, Dag Broman, Johan Nordbäck, and Erik Lundberg 2002. "Persistent Organic Pollutants (POPs) in Pelagic Systems," *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 29(4), 202-209, (1 August 2000).
<https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.4.202>
- (8) Livsmedelsverket 2023. PFAS och andra miljögifter i dricksvatten och livsmedel – kontroll <https://www.livsmedelsverket.se/foretagande-regler-kontroll/dricksvattenproduktion/kontroll-pfas-miljogifter-dricksvatten-egenfangad-fisk>
- (9) EFSA CONTAM Panel. 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA-journal* 18(9).
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- (10) Länsstyrelsen i Jönköpings län. 2022. Information om PFAS i fisk från Vättern.
<https://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/djur/fiske/information-om-pfas-i-fisk.html>

Publiceringar under 2022

Under 2022 publicerades sju rapporter i förbundets rapportserie:

Rapport 149: Signalkräftans påverkan på Vätterns ekosystem

Rapport 150: Rödinglekprovfiske i Vättern

Rapport 151: Inventering av gäddyngel

Rapport 152: Miljögifter i fisk från Vänern, Vättern och Mälaren 2021

Rapport 153: Analys av lekfiskräkning öring 2004-2021

Rapport 154: Årsskrift 2021

Rapport 155: Makrofyter i Vättern 2018-2020

